

RAPPORT

Ontwerputgangspunten PU-fase IJsselmeerdijk – ontwerploop 2

Ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten Planuitwerking
IJsselmeerdijk

Klant: Waterschap Zuiderzeeland

Referentie: BI8482-RHD-XX-ZZ-RP-Z-0001

Status: Concept/C01

Datum: 29 september 2023

Projectgerelateerd

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

George Hintzenweg 85
3068 AX Rotterdam
Netherlands
Water & Maritime

+31 88 348 90 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Ontwerputgangspunten PU-fase IJsselmeerdijk – ontwerploop 2

Sub titel: Ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten Planuitwerking IJsselmeerdijk
Referentie: BI8482-RHD-XX-ZZ-RP-Z-0001
Uw kenmerk IJMD

Status: C01
Datum: 29 september 2023
Projectnaam: Versterking IJsselmeerdijk
Projectnummer: BI8482
Auteur(s): Han de Jong

Opgesteld door: Martijn Huis in 't Veld, Don de Bake,
Clara Spoorenberg, Jacco van
Kesteren, Dennis Wansink, Vincent
Vuik, Maarten Schoemaker, Wouter
Henk Kanger, Martin de Haan

Gecontroleerd door: Sander Post

Datum: 29 september 2023

Goedgekeurd door: Mirjam Walbeek

Datum: 24 september 2023

Classificatie

Projectgerelateerd

Inhoud

Managementsamenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 De IJsselmeerdijk voldoet niet aan de veiligheidseisen	7
1.1.1 Veiligheidstekort en ontwerpogave	8
1.1.2 Gekozen Voorkeursalternatief verkenningsfase	10
1.1.3 Gekozen optimalisatievarianten ontwerploop 1	13
1.1.4 Meekoppelkansen opgenomen in voorkeursbeslissing	17
1.2 Een veilige, toekomstbestendige en goed ingepaste dijk.....	18
1.3 Proces integrale planuitwerkingsfase en uitgangspunten	19
1.4 Detailniveau en relatie tot andere producten.....	20
1.4.1 Technische uitgangspunten	20
1.4.2 Eisen en wensen vanuit omgeving en conditionering	21
1.4.3 Ontwerpdoelen Ontwerploop 2	21
1.5 Relatie met SE	24
2 Functionele en ruimtelijke uitgangspunten	26
2.1 Functionele uitgangspunten	26
2.1.1 Beheer.....	26
2.1.2 Uitbreiding na levensduur	26
2.1.3 Vooroever	27
3 Technische uitgangspunten	28
3.1 Ontwerpen met overstromingskans.....	28
3.1.1 Normering.....	28
3.1.2 Uiterste grenstoestand en bruikbaarheidsgrenstoestand	28
3.1.3 Faalkansruimte en lengte-effectfactoren.....	28
3.1.4 Ontwerplevensduur dijkversterking	30
3.2 Algemene technische uitgangspunten	31
3.2.1 Hydraulische belastingen	31
3.2.2 Klimaatverandering	32
3.2.3 Bodemdaling, zetting en klink	33
3.2.4 Grondwaterstanden.....	34
3.2.5 Verkeersbelasting.....	35
3.2.6 Aardbevingsbelasting	36
3.2.7 Overige belastingen	36
3.2.8 Reststerkte grasbekleding in de golfoploopzone	36
3.2.9 Externe kennisontwikkelingen, onderzoeken en processen	37
3.3 Technisch ontwerp dam en vooroever	38
3.3.1 Technisch ontwerp vooroeverdam.....	38
3.3.2 Technisch ontwerp vooroever	40
3.4 Technisch ontwerp dijk.....	45

Projectgerelateerd

3.4.1	Kruinhoogte	47
3.4.2	Overgangshoogte hard-zacht buitentalud (grasbekleding erosie buitentalud, GEBU)	50
3.4.3	Overige faalmechanismen gerelateerd aan grasbekleding	53
3.4.4	Ondertaludhelling	53
3.4.5	Buitenberm	54
3.4.6	Teenbescherming	54
3.4.7	Steenzetting buitentalud	56
3.4.8	Onderhoudspad	57
3.4.9	Geotechnische stabiliteit dijk	57
3.4.10	Zettingsanalyses	63
3.4.11	Kunstwerken in dijk	64
3.5	Ruimtelijke uitgangspunten	65
4	Uitgangspunten omgeving	66
4.1	Algemeen	66
4.2	Meekoppelkansen opgenomen in planuitwerkingsfase	66
4.2.1	Ecologische optimalisatie vooroever	66
4.2.2	Beheerpad opwaarderen naar fiets- en wandelpad	67
4.2.3	Ontwikkelen recreatiepunt	67
4.2.4	Zonnapark op binnentalud	67
4.2.5	Verbreiding IJsselmeerdijkweg	68
4.3	Nieuwe meekoppelkansen	68
4.3.1	Ontwerpagenda	69
4.4	Grondwater	70
4.4.1	Verandering stijghoogte	70
4.4.2	Verandering kwel en mogelijke verzilting	70
5	Natuur	70
5.1	Inleiding	70
5.2	Uitgangspunten	71
5.3	Uit te voeren onderzoek	71
6	Duurzaamheid	77
6.1	Referentieontwerp voor Planuitwerkingsfase	77
6.2	Uitgangspunten per duurzaamheidsthema	77
6.2.1	Circulariteit	77
6.2.2	Klimaatneutraal	78
6.2.3	Biodiversiteit	79
7	Uitvoering	80
7.1	Uitgangspunten	80
7.2	Bereikbaarheid	80
7.3	Veiligheid	80

Projectgerelateerd

7.3.1	Hoogwaterveiligheid tijdens uitvoering.....	80
7.3.2	Arbeidsveiligheid en Omgevingsveiligheid.....	81
8	Onderzoeken	81
8.1	Kabels en leidingen	81
8.2	DTM, Sonar, breuksteen en Archeologie	83
8.2.1	DTM en Sonar.....	83
8.2.2	Archeologisch onderzoek.....	83
8.2.3	Breksteenonderzoek	84
8.3	Milieuhygiënisch bodemonderzoek	84
8.3.1	Doelstelling.....	84
8.3.2	Landbodem	84
8.3.3	Waterbodem.....	84
8.3.4	Vrijkomende materialen	84
8.3.5	Conclusie.....	86
8.4	Licht, lucht, geluid en trillingsonderzoek.....	86
8.4.1	Lucht.....	86
8.4.2	Licht.....	86
8.4.3	Geluid	86
8.4.4	Trillingen.....	86
9	Kosten.....	86
9.1	Opdrachtoomschrijving.....	87
9.1.1	Eisen aan het product en uitwerking daarvan.....	87
9.1.2	Eisen aan het proces en uitwerking daarvan	88
9.2	Uitgangspunten	88
9.3	Relatie met andere werkpakketten	89
10	Referenties	90
	Bijlage A: Overzicht systeemeisen (SES)	92
	Bijlage B: Update ondergrondschematisering (SOS profielen)	93

Managementsamenvatting

De waterkering tussen de Ketelbrug en de Houtribdijk in Lelystad voldoet niet aan de waterveiligheidseisen. Deze dijk beschermt Flevoland tegen overstromingen vanuit het IJsselmeer. Het is de wettelijke taak van het waterschap om de keringen in haar beheergebied aan de normen te laten voldoen. Waterschap Zuiderzeeland is daarom in 2019 gestart met het meerjarige project Versterking IJsselmeerdijk.

Het projectdoel is het realiseren van een veilige én toekomstbestendige dijk, die goed wordt ingepast in de omgeving met behoud van de huidige ruimtelijke kwaliteit. Hierbij wordt nadrukkelijk gezocht naar de mogelijkheden voor het inpassen van innovatieve en duurzame oplossingen.

In de periode september 2020 tot oktober 2022 is een verkenningsfase conform de HWBP-systematiek¹ doorlopen. Hieruit is een voorkeursalternatief voor de versterking van de IJsselmeerdijk voortgekomen die bestuurlijk is vastgesteld.

Momenteel bevindt het project zich in de planuitwerkingsfase. De periode oktober 2022 - begin 2024 staat gepland voor de planuitwerkingsfase. In de periode hierna volgt de realisatiefase. Het ontwerp dient om de hierna volgende redenen in de planuitwerkingsfase nader uitgewerkt te worden:

- Het succesvol doorlopen van procedures en vergunningen (project-m.e.r., projectbesluit, Wnb);
- Een goed beeld van de eindsituatie te krijgen inclusief benodigde beheer- en onderhoudsmaatregelen;
- Het zo goed mogelijk inschatten en verkleinen van de instandhoudingskosten voor het waterschap;
- Het verkleinen van uitvoeringsrisico's;
- Het opstellen van de benodigde aanbestedings- en contractstukken;
- Het opstellen van een kostenraming t.b.v. de subsidieaanvraag bij het HWBP en de kosten voor het waterschap.

In de planuitwerkingsfase van het project wordt een integrale aanpak gehanteerd met een aantal projectfasen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen vijf hoofdfasen; voorbereiding, ontwerploop 1, ontwerploop 2, Afronding ontwerp – start planprocedure (ontwerploop 3) en planprocedure/aanbesteding. Voor ontwerploop 1 en ontwerploop 2 worden afzonderlijke ontwerputgangspuntennotities opgesteld. De resultaten van het ontwerpproces worden vervolgens per ontwerploop vastgelegd in ontwerprapportages waarin onderbouwing wordt gegeven over het ontwerp van de dijk (specifiek voor de deeltrajecten: traditionele dijk, vooroever, maatwerkvakken). Indien -om wat voor reden dan ook- wordt afgeweken van een vooraf vastgesteld uitgangspunt, wordt dit nadrukkelijk opgenomen in een ontwerprapportage.

Ontwerploop 1 (april 2023 t/m september 2023) stond in het teken van het uitwerken en afwegen van optimalisatie(varianten) van het voorkeursalternatief voor bepaalde deeltrajecten. In ontwerploop 2 worden de gekozen varianten geïntegreerd in een integraal ontwerp voor het gehele dijktraject. Aan het einde van ontwerploop 2 ligt er een stabiel ontwerp welke geschikt is om te fungeren als referentie-ontwerp en vergunningsontwerp om de contractstukken voor de aanbestedingsfase af te ronden en het planproceduretraject te doorlopen.

Voor de start van ontwerploop 2 is voorliggende nieuwe ontwerputgangspuntennotitie opgesteld, waarbij de huidige uitgangspunten zijn herijkt en aanvullende/verdiepende uitgangspunten zijn toegevoegd. Deze notitie ontwerputgangspunten bouwt daarbij voort op de gebruikte uitgangspunten uit de Verkenningsfase

¹ HWBP staat voor Hoogwaterbeschermingsprogramma, voor meer informatie over dit programma wordt verwezen naar www.hwbp.nl

Projectgerelateerd

en ontwerploop 1 van de planuitwerkingsfase en omvat onder andere technische uitgangspunten, ruimtelijke uitgangspunten, duurzaamheidsuitgangspunten, omgevingsuitgangspunten en uitgangspunten voor conditionerend onderzoek. Deze uitgangspuntennotitie is daarmee veelomvattend en een belangrijk document voor het project. Daar waar strijdige uitgangspunten voor ontwerploop 2 zijn gekozen in vergelijking met ontwerploop 1 wordt dit specifiek benoemd.

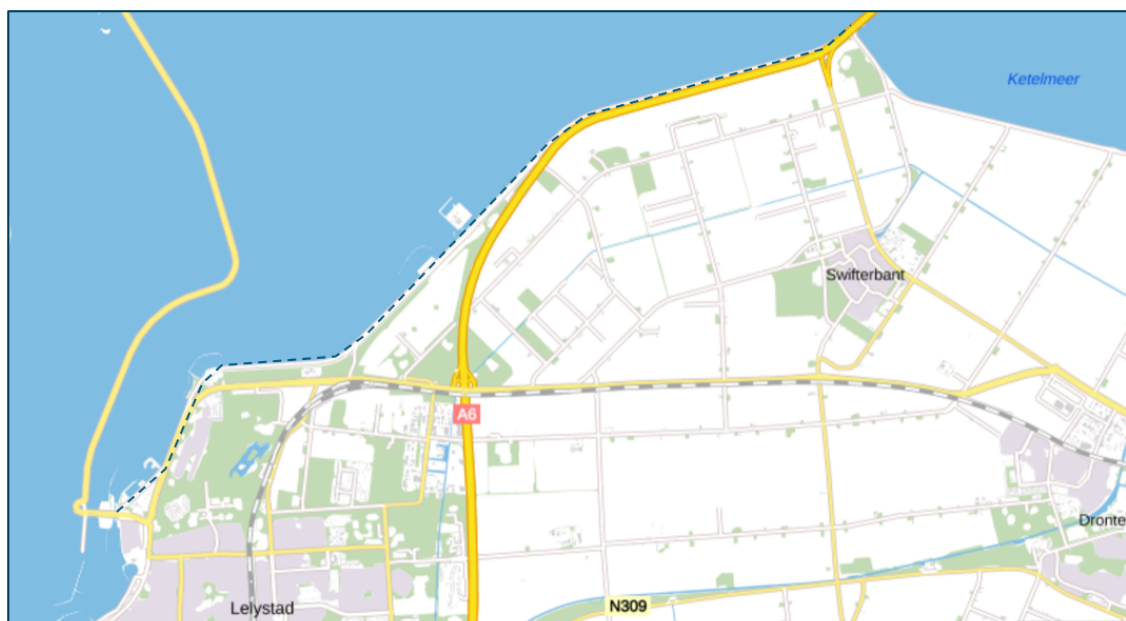
1 Inleiding

1.1 De IJsselmeerdijk voldoet niet aan de veiligheidseisen

De IJsselmeerdijk beschermt de diepe Flevopolder tegen het water van het IJsselmeer. In 2018 heeft Waterschap Zuiderzeeland (hierna soms afgekort als: Zuiderzeeland of waterschap) beoordeeld of de IJsselmeerdijk zo sterk is als de waterveiligheidsnormen voorschrijven. Dat blijkt niet zo te zijn. Sinds 2017 gelden voor de waterkeringen in Nederland nieuwe wettelijke waterveiligheidsnormen. Deze norm is voor Flevoland strenger dan daarvoor om in te spelen op de gevolgen van klimaatverandering en om de grotere hoeveelheid inwoners en de hogere economische waarde in Flevoland beter te beschermen. De waterkering voldoet ruim niet aan de nieuwe strengere norm. Dat wil niet zeggen dat er op dit moment acuut een onveilige situatie is. Het betekent wel dat een dijkversterking nodig is. Het is de wettelijke taak van het waterschap om de keringen aan de normen te laten voldoen. Zuiderzeeland is daarom in 2019 gestart met dit meerjarige project Versterking IJsselmeerdijk.

De IJsselmeerdijk is de zwaarst aangevallen dijk van de Flevopolder. Dat komt door de ligging, waarbij bij noordwesterstorm de wind over de volle lengte van het IJsselmeer waterstanden en golven tegen de dijk opzet. De dijk beschermt de hele Flevopolder (Oostelijk en Zuidelijk Flevoland), omdat sinds 2019 de Knardijk tussen Oostelijk en Zuidelijk Flevoland geen officiële compartimenteringskering meer is. Doordat de polder circa 5 meter lager ligt dan het IJsselmeerpeil, leidt een dijkdoorbraak tot een vrijwel volledige overstroming van de polder. Het opnieuw droogmalen van polder duurt vele maanden. Het is niet overdreven om te stellen dat een dijkdoorbraak leidt tot een langdurig volledig onbewoonbaar gebied en tot mogelijk veel slachtoffers. De polder heeft dan ook een strenge waterveiligheidsnorm.

De IJsselmeerdijk is 17,6 km lang en ligt aan de noordwestzijde van Oostelijk Flevoland. De waterkering loopt van de Ketelbrug in het noorden tot aan de Houtribdijk in Lelystad (zie Figuur 1-1).



Figuur 1-1: Plangebied met tracé van de te versterken kering (blauw gestippelde lijn)

1.1.1 Veiligheidstekort en ontwerpogave

Zoals beschreven is het vastgestelde veiligheidstekort aanleiding voor het project Versterking IJsselmeerdijk. In de verkenningsfase is het doel vastgesteld om einde levensduur (het jaar 2080, zie paragraaf 3.1.4) te voldoen aan de wettelijk vastgelegde minimale overstromingskans (ondergrenswaarde, zie paragraaf 3.1.1). Er is gekozen voor een integrale versterking. Hierbinnen wordt versterkt op alle faalmechanismen met een veiligheidstekort. Hiervoor is (1) het huidige veiligheidstekort in beeld gebracht, maar ook (2) het veiligheidstekort voor alle mechanismen in 2080. De waterveiligheidsopgave is kort samengevat in Tabel 1-1. De opgave is vastgesteld door het HWBP en vormt het uitgangspunt voor de planuitwerkingsfase.

Tabel 1-1: Samenvatting van de waterveiligheidsopgave die dient als uitgangspunt voor de planuitwerkingsfase.

Faalmechanisme	Lengte (km)
Hoogte	13,3
Golfklap asfalt	16,8
Graserosie buitentalud	15,6
Graserosie kruin en binnentalud	13,3
Gras afschuiven binnentalud	1,4
Stabiliteit steenzetting	15,5

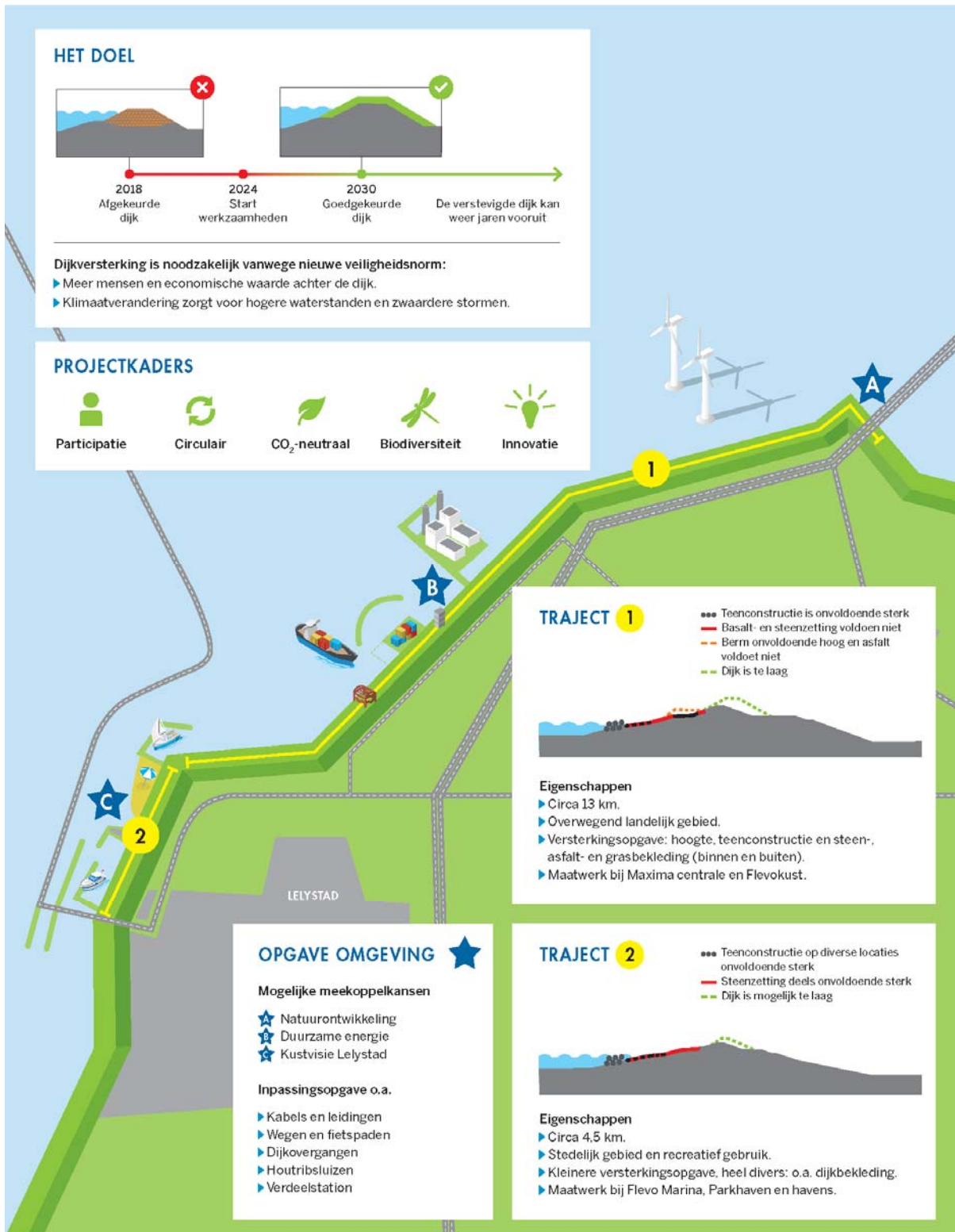
Bron: Q2-rapportage HWBP 2022

De ontwerpogave is schematisch weergegeven in Figuur 1-2. Voor de IJsselmeerdijk is een duidelijk onderscheid te maken tussen twee hoofdtrajecten:

- Traject '**Meerdijk**' (circa 14 km) welke grenst aan het grote IJsselmeer waar hoge golven tegen de dijk aan kunnen slaan en waar nu al een forse dijk aanwezig is die binnendijs grenst aan landelijk gebied en de snelweg A6.
- Traject '**Baidijk**' (circa 3,5 km) welke grenst aan de Baai van Van Eesteren en daarmee in de luwte ligt van de Houtribdijk. De dijk is hier aanmerkelijk minder hoog dan in het Meerdijk traject en de versterkingsopgave is hier ook minder groot.

IJSSELMEERDIJK

DE OPGAVE



Figuur 1-2: Schematische weergave van de ontwerpogave van het project Versterking IJsselmeerdijk.

1.1.2 Gekozen Voorkeursalternatief verkenningsfase

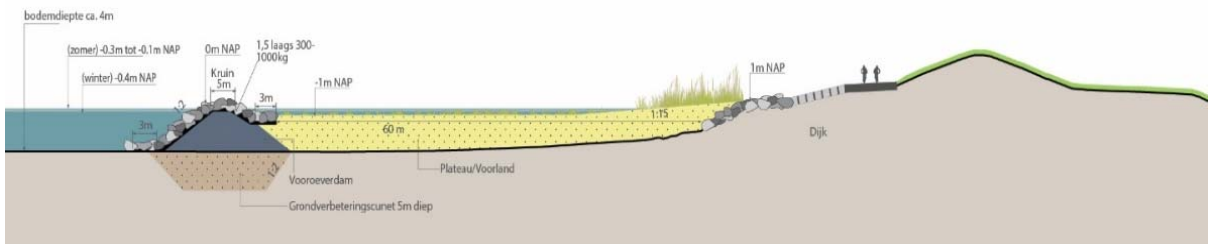
In de verkenningsfase is het voorkeursalternatief (VKA) om de dijk te versterken definitief vastgesteld. Dit alternatief is het beste uit een integrale afweging gekomen. In de planuitwerkingsfase wordt dit alternatief verder uitgewerkt. Het alternatief vormt dus het vertrekpunt van de planuitwerkingsfase. De voorkeursbeslissing (conform afronding verkenningsfase d.d. 2022) voor de Meerdijk is weergegeven in Figuur 1-3. In het figuur wordt onderscheid gemaakt tussen dijkvakken. De namen van deze dijkvakken blijven gehandhaafd in de planuitwerkingsfase, de exacte trajectgrenzen zijn in ontwerploop 1 van de planuitwerkingsfase onderzocht.



Figuur 1-3; Voorkeursbeslissing traject Meerdijk (conform afronding verkenningsfase d.d. oktober 2022)

De Voorkeursbeslissing verkenningsfase d.d. oktober 2022 voor de Meerdijk bestaat uit de volgende elementen:

Meerdijk noord: Vanaf de Ketelbrug tot circa 1 km noordelijk (grens nader te bepalen in planuitwerkingsfase) van de Maxima-centrale wordt een vooroever aangelegd, bestaande uit een vooroeverdam met daarachter een vooroever/grondplateau voor de bestaande dijk. De breedte van de vooroever is in orde grootte van circa 60 meter. In de vooroeverdam worden openingen aangebracht voor doorspoeling, nu uitgewerkt met parallelle langsdammen. De vooroever bevat tevens een erosiebuffer ter compensatie van verwachte zandverliezen. De bestaande dijk wordt in dit traject niet aangepast, wel dient de asfaltbekleding op de buitenberm te worden vervangen. Een doorsnede van het ontwerp voor dit dijktraject is weergegeven in Figuur 1-4.



Figuur 1-4: Ontwerp-profiel Meerdijk-Noord – verkenningsfase d.d. oktober 2022

Aansluiting Ketelbrug: Aan de landtong van Ketelbrug wordt de vooroever opgesloten door een strekdam. Deze aansluiting wordt zodanig ontworpen dat voldoende afstand van de vaarweg wordt gehouden om hinder te voorkomen. De vormgeving past binnen het Ruimtelijk Kwaliteitskader.

Traditionele grondversterking (Meerdijk-Midden): Op het dijktraject Meerdijk wordt een traditionele dijkversterking uitgevoerd met een binnendijkse of vierkante verhoging en verbreding van de dijk met grond (kruinverhoging in orde grootte 1-2 meter, nadere optimalisatie in planuitwerkingsfase). Aan de buitendijkse zijde wordt over dit traject de teen van de bestaande dijk versterkt, bovendien wordt de buitendijkse berm hier verhoogd en wordt de buitendijkse bekleding vervangen op ondertalud en boventalud. Een fotovisualisatie van het ontwerp-profiel is in Figuur 1-5 weergegeven.



Figuur 1-5: Fotovisualisatie Binnendijkse grondversterking Meerdijk-Midden (exacte opgave volgt in Planuitwerkingsfase)

Maatwerkoplossing Maxima-centrale: Een deel van het traject direct achter de Maxima-centrale (maatwerkvak B) ligt in de luwte en heeft geen hoogteopgave. Versterking van de teen buitendijks direct achter de Maxima-centrale is niet nodig. Voor de overgang van de versterkte dijk links en rechts van de Maximacentrale naar de toegangsweg van de Maximacentrale zijn diverse oplossingen mogelijk. De exacte vormgeving hiervan wordt nader uitgewerkt in de planuitwerkingsfase.

Maatwerkoplossing Flevokust: Het maatwerkvak Flevokust (maatwerkvak C) heeft geen versterkingsopgave. De teenversterking buitendijks wordt hier niet doorgetrokken. Een brede toegang op de huidige dijkhoogte wordt aangehouden richting het haventerrein. De exacte vormgeving van de overgang van de versterkte dijk naar de huidige hoogte wordt in de planuitwerkingsfase nader uitgewerkt. Hierbij geldt als uitgangspunt een maximaal behoud van rechte lijnen (weg, ondertalud, teenlijn).

Meerdijk zuid: Zuidelijk van Flevokust tot aan FlevoMarina wordt een vooroever aangelegd met een breedte van circa 60 meter in het noorden en een breedte van circa 40 meter grenzend aan de FlevoMarina. De kenmerken van deze vooroever zijn verder gelijk aan de bredere vooroever zoals hierboven beschreven voor Meerdijk noord. De ecologische inrichting is sober. De bestaande dijk wordt in dit traject niet aangepast, enkel de asfaltbekleding op de buitenberm wordt vervangen. De exacte afstand van de vooroever tot aan Flevokust wordt in de planuitwerkingsfase geoptimaliseerd.

De Voorkeursbeslissing verkenningfase d.d. oktober 2022 voor de **Baaidijk** is weergegeven in Figuur 1-6.



Figuur 1-6: Voorkeursbeslissing traject Baaidijk

De Voorkeursbeslissing verkenningfase d.d. oktober 2022 voor de Baaidijk bestaat uit de volgende elementen:

Maatwerkoplossing FlevoMarina: Bij FlevoMarina (maatwerkvak) moet ten noorden en zuiden van de buitendijkse bebouwing de teen aan de buitenzijde versterkt worden, de buitenberm verhoogd worden en de zetsteen vervangen worden. Een alternatieve versterkingsoplossing is mogelijk. De versterkingsopgave wordt in de planuitwerkingsfase nader uitgewerkt om tot een acceptabele inpassing te komen.

Maatwerkoplossing Houtribhoekstrand: Houtribhoekstrand (maatwerkvak) heeft een beperkte opgave. De buitenberm wordt iets verhoogd (incl. verlenging zetsteen ondertalud tot aan hoogte nieuwe buitenberm). Er wordt een nieuwe asfaltbekleding op de (verhoogde) buitenberm teruggebracht.

Vervangen zetsteenbekleding en teenconstructie Baaidijk-midden: Op dit traject wordt de teen versterkt aan de buitenzijde en wordt de zetsteen op het ondertalud volledig vervangen. Een (kruin)verhoging is niet nodig.

Vervangen asfaltbekleding en verhoging buitenberm: Voor de gehele Baaidijk geldt dat de buitenberm, waar mogelijk, iets wordt verhoogd (incl. verlenging zetsteen ondertalud tot aan hoogte

nieuwe buitenberm). Daarnaast wordt een nieuwe asfaltbekleding op de (verhoogde) buitenberm teruggebracht. Zo ontstaat een volwaardig beheer- en inspectiepad langs dit deel van het dijktraject dat gecombineerd kan worden met een fiets- en wandelpad.

1.1.3 Gekozen optimalisatievarianten ontwerploop 1

In ontwerploop 1 zijn een tiental optimalisatievarianten van het ontwerp van de verkenningfase (zie paragraaf 1.1.2.) beschouwd en afgewogen ten opzichte van elkaar. De gekozen (deel)varianten worden in ontwerploop verder uitgewerkt tot een integraal ontwerp voor het gehele dijktraject. In deze paragraaf worden kort de belangrijkste keuzes van ontwerploop 1 toegelicht, meer onderbouwing is opgenomen in de integrale technische ontwerpnota OL1.

In ontwerploop 1 zijn een aantal principiële keuzes voor de vooroever uitgewerkt, zoals de geometrie, opbouw en begrenzing. Voor de traditionele dijk zijn keuzes gemaakt voor het teenontwerp, taludhelling en de kruinhoogte. Bij de maatwerkdijkvakken is gekeken naar de inpassing bij de FlevoMarina, de hoogspanningskabels bij de Maxima centrale en de opties om het beheerpad op te waarderen naar een fiets- en wandelpad bij de FlevoMarina. De verschillende varianten zijn met een afweegkader afgewogen (zie ook paragraaf 1.3). Hierbij is gekeken naar de thema's haalbaarheid, duurzaamheid, beheer en onderhoud, kosten en planning, inpassing en draagvlak. Op basis van de afweging is gekozen welke variant uitgewerkt wordt in het referentieontwerp en welke uitgesloten wordt in het contract. Het kan ook zijn dat een variant niet uitgewerkt wordt, maar dat hiervoor wel ruimte wordt geboden in het contract en de vergunningen.

De afwegingen van ontwerploop 1 waren:

Vooroeverontwerp

- Afweging: Benodigde geometrie vooroever (hoogteligging vooroeverdam i.r.t. dimensie vooroever)
- Afweging: Vooroeverdam opbouw (gebruik van o.a. zettingsversnellende maatregelen)
- Afweging: Trajectlengte Vooroever Noord
- Afweging: Trajectlengte Vooroever Zuid
- Afweging: Gebruik van secundaire grond

Traditionele dijkversterking

- Afweging: Ontwerp ondertaludhelling en kruinhoogte traditionele dijk
- Afweging: Teenontwerp traditionele dijk

Maatwerkvakken

- Afweging: Versterkingsalternatieven FlevoMarina (o.a. meekoppelkans uitbreiding havengebied)
- Afweging: Versterking bij Maximacentrale – knelpunt hoogspanningskabels
- Afweging: Opties Beheerpad opwaarderen naar fiets- en wandelpad bij FlevoMarina

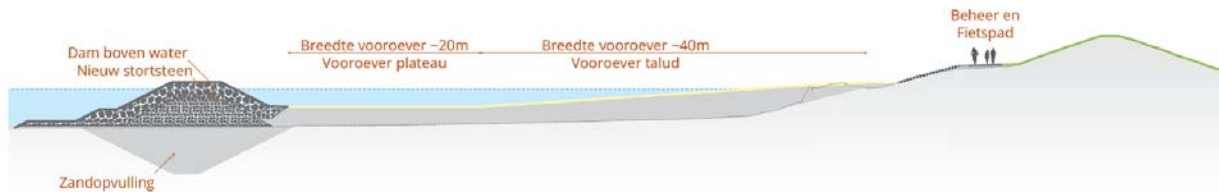
De gemaakte keuzes worden in onderstaande paragraaf per oplossingsrichting kort en bondig beschreven.

Vooroeverontwerp

Voor de vooroever is gekozen voor een langsdam boven water. Een dam boven water zorgt voor luwte in de vooroever waardoor de beheerinspanning afneemt en er meer biodiversiteit kan komen. Een dam boven water geeft nauwelijks tot geen toename in het aantal vogelslachtoffers bij Windplan Blauw en is daarmee vergunbaar. Een dam onder water valt af en wordt niet mogelijk gemaakt in het contract. Bij de vooroever Noord wordt de vooroever (basis-variant) minimaal 60m breed. Hier is een olopemd talud gunstiger dan een vlak talud: er is dan meer golfremming (en daarmee is een olopemd talud robuuster en is er minder zanderosie), door de verschillende dieptes zijn er meer mogelijkheden voor biodiversiteit en beheer is beter mogelijk doordat er varend materieel achter de dam mogelijk is. Bij de vooroever Zuid wordt de vooroever 40 tot 60m breed. In Figuur 1-7 toont het voorlopige vooroeverontwerp op een schetsmatige manier. Een vooroever met een vlak talud is bij dit dijktraject gekozen als referentie-

ontwerp, omdat de levensduurkosten van deze variant net iets lager waren geraamd. In ontwerploop 2 ligt de nadruk op het beperken en vereenvoudigen van de beheeropgave, benodigde aanpassingen aan de nu gekozen geometrie worden daarom nog niet uitgesloten.

PRINCIPEPROFIEL VOOROEVERVERSTERKING



ARTIST IMPRESSION TOEKOMSTIGE SITUATIE



VOGELVLUCHTPERSPECTIEF

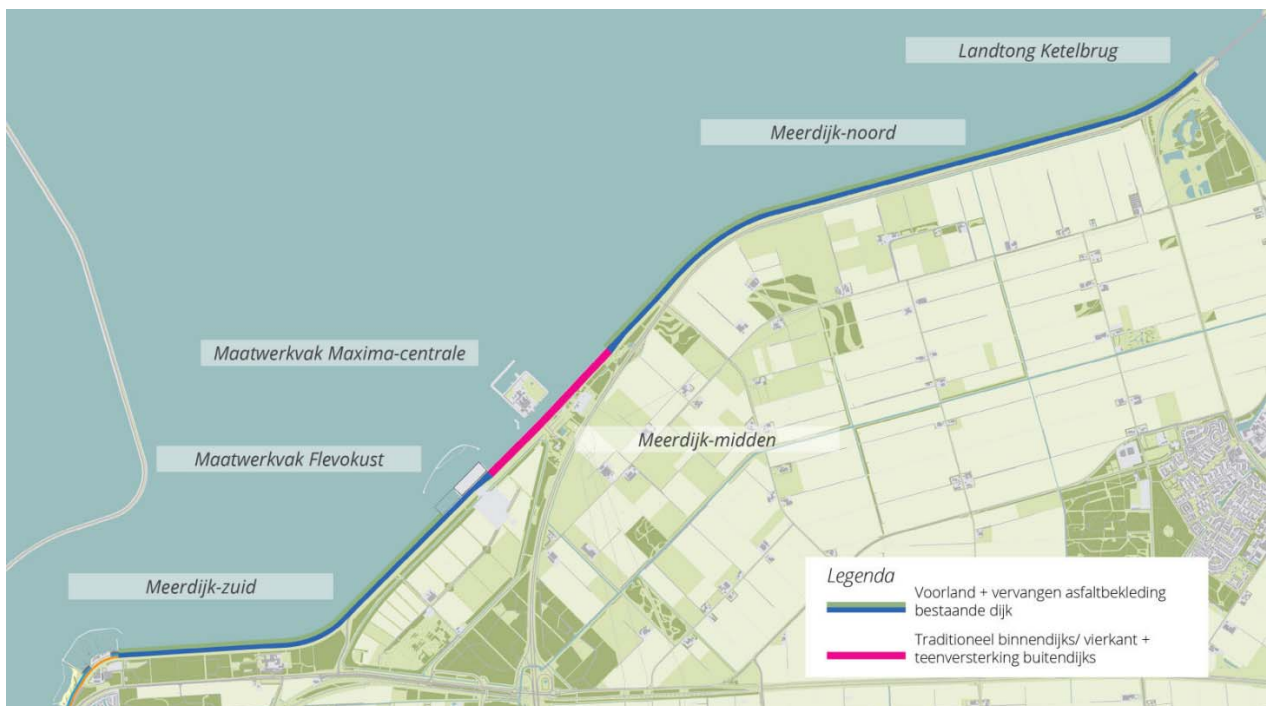


Figuur 1-7; principeprofiel en artist impressions vooroeverversterking Meerdijk Noord - Ontwerploop 1

De vooroeverdam is een belangrijk element in het ontwerp en uit de kostenraming komt naar voren dat de bouw van de vooroeverdam maar liefst circa 60% van de totale bouwkosten van het project beslaat. Een optimalisatie loont dus. In ontwerploop 1 is specifiek naar de stabiliteit van de dam gekeken. De ondergrond kent namelijk een dik pakket slappe lagen en zetting speelt dus een grote rol. Om de restzettingen van de vooroeverdam te beperken, is er gekozen om een cunet van zand onder de dam aan te brengen. Dit is een bewezen techniek die goed beheerbaar is en relatief lage kosten heeft. Het nadeel is dat het ontgraven van veen tot CO₂- en methaanemissies kan leiden. De effecten hiervan worden nog beoordeeld. Mocht dit tot significante effecten leiden dan is verticale drainage een goede terugvaloptie. Binnen het contract wordt een restzettingseis opgenomen waarmee de aanleg van een vooroeverdam zonder cunet of zonder verticale drainage waarschijnlijk niet mogelijk is.

Projectgerelateerd

In ontwerploop 1 is ook gekeken naar de meest geschikte locaties voor de overgang tussen de versterking met vooroever en de traditionele dijkversterking. Uitgangspunt is dat de dijkversterking met een vooroever een voorkeur heeft, zowel qua kosten als qua biodiversiteit. Voor de begrenzing op het zuidelijke traject betekent dit dat de vooroever zo ver mogelijk doorloopt naar de Flevokust. In ontwerploop 2 wordt onderzocht of de zandige vooroever helemaal tot aan de Flevokust kan doorlopen of iets daarvoor moet eindigen om op de toekomstige ontwikkelingen van de Flevokust te anticiperen. Voor het noordelijke traject (Meerdijk Noord) geldt ook dat een zo lang mogelijk vooroever wenselijk is, mits de mogelijke (negatieve) effecten op de bedrijfsvoering van de Maximacentrale acceptabel blijven. Een vooroever leidt voor de Maximacentrale namelijk tot de inname van iets warmer koelwater, wat een direct effect heeft op hun rendement/kosten. Voor nu is het uitgangspunt dat de vooroever ongeveer 700m vanaf de Maximacentrale start. In ontwerploop 2 wordt in overleg met de Maximacentrale bepaald waar de overgang precies komt. In Figuur 1-8 is de versterkingsmethodiek van traject Meerdijk met de nieuwe inzichten van ontwerploop 1 weergegeven.



Figuur 1-8: Nieuwe trajectgrenzen na ontwerploop 1.

Tot slot is voor de vooroever gekeken naar het gebruik van secundaire grond. Hier wordt vrijheid gegeven aan de aannemer, maar wel binnen een aantal restricties:

Uitvoeringsduur wordt ingeperkt en er mag geen vertroebeling plaats vinden. Ook zullen er scherpe eisen worden gesteld om de beheeropgave te minimaliseren. In de praktijk betekent dit dat het gebruik van slib op grote schaal niet mogelijk wordt.

Er mogen geen grondstoffen gebruikt worden die op de zwarte lijst van Waterschap Zuiderzeeland staan. Op dit moment is granuliet op deze lijst opgenomen en toepassing is daardoor uitgesloten.

Voor het referentieontwerp betekent dit dat we uitgaan van een vooroever met zand.

Traditionele dijkversterking

Voor de traditionele dijkversterking is de gekozen variant voor het referentie-ontwerp op dit moment een versterking binnenwaarts. Hierbij wordt de kruin opgehoogd naar NAP +7.0m en wordt het zetsteentalud

aangelegd op 1:4, zie Figuur 1-9 voor een visualisatie. Ten opzichte van een vierkante versterking is de versterking binnenwaarts robuuster tegen peilveranderingen en betere uitvoerbaar. In ontwerploop 2 wordt de mogelijkheid om het buitentalud te verflauwen, waarbij de kruin van de dijk minder hoeft te worden verhoogd nog wel afgewogen aan de hand van de nieuwe GEBU-GEKB tool. Aandachtspunt bij beide varianten is de hinder tijdens aanleg. Aanbevolen wordt dit als selectiecriteria mee te geven aan de aannemer.

Bij de traditionele dijk moet ook de teen versterkt worden, in het referentie-ontwerp gaan we uit van een overlaging van de bestaande dijkteen. Ten opzichte van een variant met een damwand is deze variant beter uitvoerbaar, robuuster en biedt het meer vrijheid voor de aannemer. De variant met damwand wordt niet uitgesloten in het contract. Deze variant scoort hoog op kwaliteit, natuur, biodiversiteit en uitbreidbaarheid. Door de hoge MKI en hoge kosten valt deze waarschijnlijk af.

PRINCIPEPROFIEL TRADITIONELE VERSTERKING



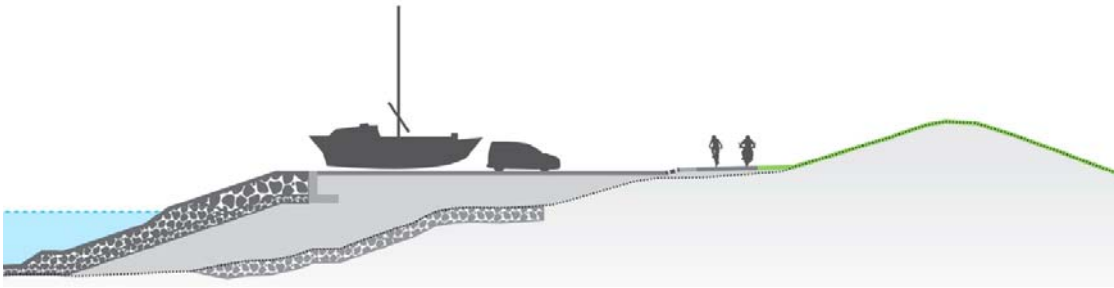
ARTIST IMPRESSION TOEKOMSTIGE SITUATIE



Figuur 1-9: principeprofiel en artist impression dijkversterking Meerdijk Midden - Ontwerploop 1

Maatwerkdijkvakken

Bij de FlevoMarina voldoen over een traject van 100m en een traject van 80m (aan weerszijden van het hoofdgebouw) de bestaande dijkteen, de zetsteenbekleding en de asfaltbekleding niet. De gekozen voorkeursvariant is een sobere versterking met een overlaging van stortsteen (ook over de bestaande zetsteen) en het vervangen van het asfalt op de buitenberm. Deze variant is geheel HWBP subsidiabel. Echter is het versterkingsprincipe van deze variant relatief eenvoudig uit te breiden richting IJsselmeer waardoor er extra (droog) werkterrein voor de FlevoMarina ontstaat, zie Figuur 1-10 voor een visualisatie. Dit is een wens van FlevoMarina en daarmee een potentiële meekoppelkans, waarvoor aanvullende financiering benodigd is. In ontwerploop 2 wordt definitief besloten of deze meekoppelkans doorgang vindt.



Figuur 1-10: Potentiele meekoppelkans FlevoMarina

Bij de FlevoMarina is ook onderzocht hoe een fiets- en wandelpad het beste (veilig) ingepast kan worden. Hier is gekozen voor een integratie van het fiets- en wandelpad met het beheerpad. In ontwerploop 2 wordt deze variant verder uitgewerkt met specifieke aandacht voor inpassing en verkeerskundige afwikkeling.

Bij de Maximacentrale lopen hoogspanningskabels relatief laag over de dijk. Direct achter de Maximacentrale kent de dijk geen hoogteopgave en zou alleen opgehoogd worden ten behoeve van de ruimtelijke kwaliteit, omdat de aangrenzende dijklichaam wel (flink) worden verhoogd. De kosten van het verhogen zijn hoog en de veiligheid tijdens aanlegfase en beheerfase nabij de hoogspanningskabels komt in het geding (o.a. gevaar voor vonken). In ontwerploop 2 wordt daarom onderzocht hoe de dijk zonder verhoging (m.a.w. huidige kruinhoogte) goed ingepast kan worden, zie Figuur 1-11 voor een artist impression voor deze variant.



Figuur 1-11: Artist impression gekozen variant ter hoogte van de Maximacentrale

1.1.4 Meekoppelkansen opgenomen in voorkeursbeslissing

In de verkenningsfase zijn diverse meekoppelkansen aangedragen en afgewogen of deze inpasbaar meegekoppeld kunnen worden. De meekoppelkansen die in de planuitwerkingsfase nader uitgewerkt worden zijn:

- **Ecologische optimalisatie vooroever;** een vooroever met meer ecologische meerwaarde ten opzichte van een vooroever die ingericht is om sober en doelmatig (wel vergunbaar) te voldoen aan de waterveiligheidsopgave.
- **Beheerpad opwaarderen naar fiets- en wandelpad;** het beheerpad op het buitentalud van de dijk moet grotendeels vervangen worden. Dit is een kans om dit beheerpad op te waarderen naar een fiets- en wandelpad.
- **Meer werkruimte voor FlevoMarina;** het combineren van de dijkversterking met de wens van de FlevoMarina voor meer (droog) werkterrein en het scheiden van bedrijvigheid en overige verkeersstromen.
- **Ontwikkelen recreatiepunt;** De fietsroute over de IJsselmeerdijk is lang en heeft weinig interessante punten om naartoe te fietsen. Het is de wens van het Waterschap, de Provincie en de gemeenten Dronten en Lelystad om het traject qua recreatiemogelijkheden te verbeteren.

- **Zonnepark op binnentalud;** verkenning om zonnepanelen te plaatsen op het dijklichaam (binnendijks).

In de planuitwerkingsfase is ook een meekoppelkans aangedragen, namelijk:

- **Verbreden IJsselmeerdijkweg;** verkenning om de huidige IJsselmeerdijkweg (inclusief bermen) op de binnenberm van de dijk te verbreden conform de juridische status van de weg. Het betreft het traject tussen de Klokbekeweg en de N307.

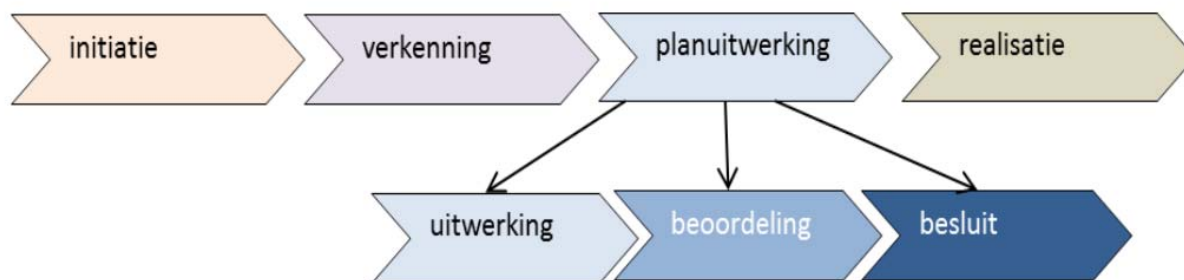
In ontwerploop 1 van de planuitwerkingsfase is deze meekoppelkans uitgewerkt en afgewogen, waarbij is gebleken dat er onvoldoende budget voor vrijgemaakt kon worden. Hierbij is deze meekoppelkans (voorlopig) afgevallen.

Voor meer informatie over de meekoppelkansen wordt verwezen naar Hoofdstuk 4.

1.2 Een veilige, toekomstbestendige en goed ingepaste dijk

Het projectdoel is het realiseren van een veilige én toekomstbestendige dijk. De nieuwe dijk wordt goed ingepast in de omgeving met behoud van de huidige ruimtelijke kwaliteit. Er wordt nadrukkelijk gezocht naar de mogelijkheden voor het inpassen van innovatieve en duurzame oplossingen. De dijk dient te worden gerealiseerd op basis van een bestuurlijk en maatschappelijk gedragen plan.

Momenteel bevindt het project zich in de planuitwerkingsfase, volgens de fasering uit het landelijke Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). De periode 2022-2024 staat gepland voor de planuitwerkingsfase. In de periode hierna volgt de realisatiefase. De uitvoeringsfase start in 2025. Voor de aanbestedings- en realisatiefase wordt nu een UAV-GC contractvorm verondersteld. Het project volgt de standaard HWBP-projecten systematiek, waarbij de planuitwerkingsfase eindigt met een vastgesteld projectbesluit. In ontwerploop 1 ligt de nadruk op de de fase “uitwerking”. In ontwerploop 2 wordt verder uitgewerkt tot een integraal ontwerp en start de beoordelingsfase, zie ook de visualisatie in Figuur 1-12.



Figuur 1-12: Fasering HWBP-project

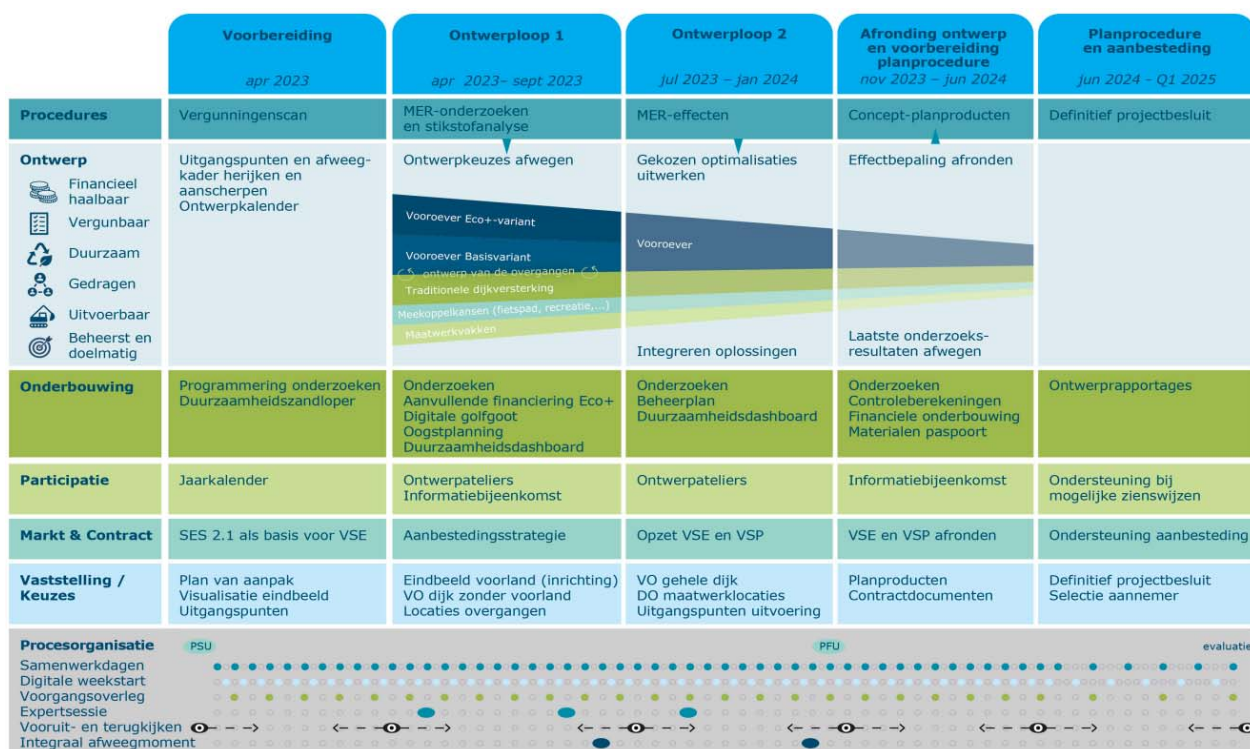
Het ontwerp dient om de hierna volgende redenen in de planuitwerkingsfase nader uitgewerkt te worden:

- Het succesvol doorlopen van procedures en vergunningen (project-m.e.r., projectbesluit, Wnb);
- Een goed beeld van de eindsituatie te krijgen inclusief benodigde beheer- en onderhoudsmaatregelen;
- Het zo goed mogelijk inschatten en verkleinen van de instandhoudingskosten voor het waterschap;
- Het verkleinen van uitvoeringsrisico's;
- Het opstellen van de benodigde aanbestedings- en contractstukken;
- Het opstellen van een kostenraming t.b.v. de subsidieaanvraag bij het HWBP en de kosten voor het waterschap.

Met een iteratief ontwerpproces wordt toegewerkt naar een robuust en beheerbaar veiligheidsontwerp met een ecologisch waardevol klimaatlandschap. Hierbij staat de beheersing van de (top)risico's centraal, die zijn vertaald in vijf ontwerppeisen: **financieel haalbaar, vergunbaar, duurzaam, gedragen en uitvoerbaar**. Belangrijk hierbij is dat wordt gewerkt conform een **beheerst en doelmatig proces** waarin met plezier wordt samengewerkt.

1.3 Proces integrale planuitwerkingsfase en uitgangspunten

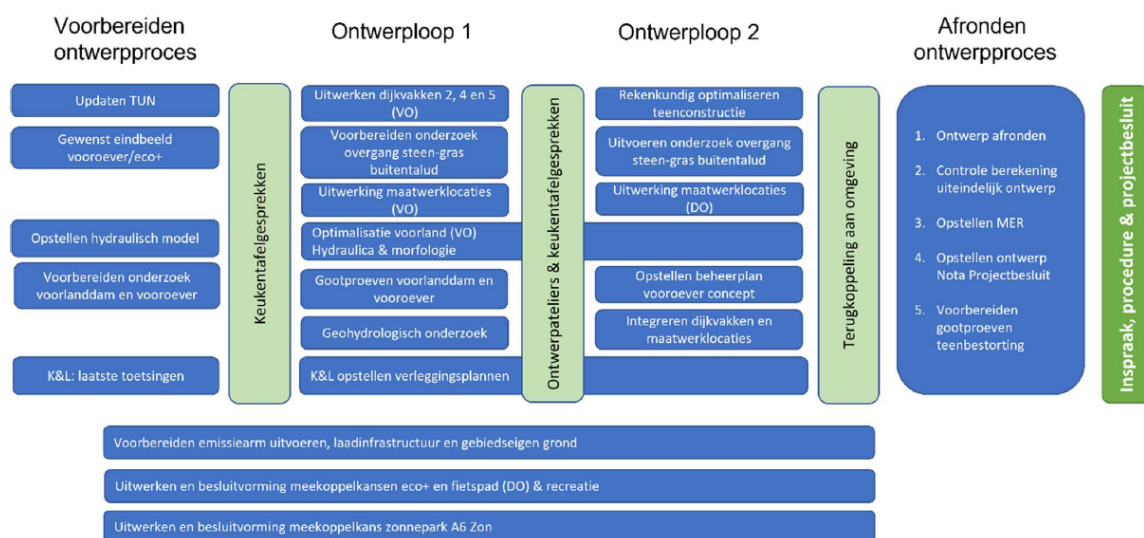
In de planuitwerkingsfase van het project wordt een integrale aanpak gehanteerd met een aantal projectfases. Er wordt onderscheid gemaakt tussen vijf hoofdfases; voorbereiding, ontwerploop 1, ontwerploop 2, Afronding ontwerp – start planprocedure (ontwerploop 3) en planprocedure/aanbesteding. Ontwerploop 1 (april 2023 t/m september 2023) staat in het teken om optimalisaties van het voorkeursalternatief uit te werken en af te wegen. Daarnaast vindt veel conditionerend onderzoek plaats in ontwerploop 1 met uitloop naar ontwerploop 2 wat vooral als input dient voor ontwerploop 2 en 3. In de tweede ontwerploop worden de gekozen optimalisaties (de ontwerpvariant) uitgewerkt tot een integraal ontwerp en wordt gestart met het bepalen van de MER-effecten. In ontwerploop 2 wordt een aanbestedingsstrategie (inclusief ruimte voor de aannemer) vastgesteld, wat de benodigde diepgang van het referentie-ontwerp bepaald. De activiteiten van de ontwerploops en de relatie met de overige projectfases zijn weergegeven in Figuur 1-13.



Figuur 1-13: Integrale processchema Planuitwerkingsfase IJsselmeerdijk

Specifiek voor het ontwerpspoor/technisch spoor geldt dat de dijkversterking in ontwerploop 2 wordt uitgewerkt tot een voorlopig ontwerp (VO). Uitzondering hierop zijn de maatwerkvlakken, deze worden in ontwerploop 2 zo veel mogelijk uitgewerkt tot het niveau behorende bij een definitief ontwerp (DO). Het gaat hierbij vooral om het vastleggen van de hoofddimensies en daarmee het ruimtebeslag, materialisatie blijft echter een vrijheidsgraad voor de aannemer. Het technisch ontwerpproces is visueel weergegeven in Figuur 1-14.

Projectgerelateerd



Figuur 1-14: Technisch ontwerpproces planuitwerkingsfase

Gebruik van afweegkader

Net als in de verkenningsfase en ontwerploop 1 wordt een afweegkader toegepast om herleidbare keuzes te maken, indien dat noodzakelijk is in het ontwerpproces. Keuzes worden vooral gemaakt tijdens twee zeefmomenten; de overgang tussen ontwerploop 1 en 2 en de overgang tussen ontwerploop 2 en 3.

In vergelijking met de verkenningsfase worden in de planuitwerkingsfase minder “grote” alternatieven ten opzichte van elkaar afgewogen. Op dit moment voorzien we voor ontwerploop 2 alleen de keuze tussen wel/niet verflauwen van het ondertalud voor de traditionele dijkversterking. Mogelijk volgen meer keuzes waarbij het afweegkader gebruik dient te worden tijdens het ontwerpproces.

Identiek aan de verkenningsfase wordt in het afweegkader onderscheid gemaakt tussen zes hoofdthema's, die weer onderverdeeld zijn in afweegcriteria. De hoofdthema's zijn haalbaarheid, duurzaamheid, beheer en onderhoud, kosten en planning, inpassing en draagvlak. Op elk criterium wordt een score van 1 t/m 5 gebruikt om varianten tegen elkaar af te wegen.

Een verschil in vergelijking met de verkenningsfase is dat in de planuitwerkingsfase meer kwantitatief wordt beoordeeld. Daarnaast zijn een drietal criteria toegevoegd; “veiligheid tijdens aanleg”, “stikstof” en “vrijheid annemer”.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van het afweegkader voor de planuitwerkingsfase wordt verwezen naar de Notitie Afweegkader.

1.4 Detailniveau en relatie tot andere producten

1.4.1 Technische uitgangspunten

In deze notitie zijn de belangrijkste technische uitgangspunten vastgelegd voor het ontwerpproces tot en met de uitwerking van het referentie-ontwerp. Het referentie-ontwerp vormt de basis voor het opstellen van de aanbestedings- en contractdocumenten. Veel uitgangspunten komen voort uit eerdere analyses en rapporten, die in het kader van de dijkversterkingsproject (nadere veiligheidsanalyse en verkenningsfase) zijn uitgevoerd en opgesteld.

Specifiek voor het opstellen van de hydraulische belastingen is een onderzoek naar optimalisaties uitgevoerd bij de start van de verkenningsfase. Hierbij is kennis van het waterschap, Deltares, Rijkswaterstaat WVL en RHDHV/HKV gebundeld om tot breed gedragen uitgangspunten te komen. Bij de start van de planuitwerkingsfase zijn wederom de hydraulische belastingen ter discussie gesteld omdat uit recent uitgevoerde golfgootproeven is gebleken dat de golfbelasting niet passend is bij de waterdiepte. Door de bijdrage van modelonzekerheid ontstaan ontwerpgolven die niet meer fysisch realistisch zijn.

Eventuele uitgangspunten die genomen worden in het ontwerpproces en niet zijn vastgesteld in voorliggende rapportage worden specifiek opgenomen in de verschillende ontwerpnotities. Deze worden na elke ontwerploop opgesteld.

Na elke ontwerploop worden ramingen opgesteld om potentiële ontwerpoptimalisaties met elkaar te kunnen vergelijken (onderdeel van het afweegkader). Daarnaast wordt elke ontwerploop afgesloten met een volwaardige SSK- en LCC-raming van een samengesteld versterkingsalternatief van het gehele dijkversterkingstraject. Specifieke kostenuitgangspunten zullen worden vastgelegd in een kostennota. Een aantal (proces)uitgangspunten zijn reeds opgenomen in Hoofdstuk 9.

Vrijheid aannemer

In een planuitwerkingsfase speelt een spanningsveld tussen het uitwerkingsniveau van referentieontwerp/vergunningontwerp en de vrijheid voor aannemer in de realisatiefase. In de ontwerploopt wordt onderzocht in integrale afstemming (tussen de driehoek technisch management, contractmanagement en omgevingsmanagement) wat de meest geschikte koers is voor het project IJsselmeerdijk.

Duurzaamheid

In deze notitie zijn in Hoofdstuk 6 ook de duurzaamheidsambities van dit project opgenomen. Het thema duurzaamheid heeft een prominente rol in het ontwerpproces. Het waterschap en RHDHV/HKV hebben elk een duurzaamheidscoördinator aangewezen die hiervoor zorgdragen. In de ontwerploopt wordt gebruik gemaakt van een innovatief duurzaamheidsdashboard, waarbij wordt gestreefd naar een zo duurzaam mogelijk dijkversterkingsontwerp.

1.4.2 Eisen en wensen vanuit omgeving en conditionering

De belangrijkste eisen/wensen vanuit de omgeving zijn opgenomen in de klanteisspecificatie (KES). Deze wordt continu bijgewerkt aan de hand van gesprekken met omgevingspartijen en beheerorganisatie van het waterschap. Eisen/wensen voor ruimtelijke kwaliteit zijn opgenomen in het ruimtelijk kwaliteitskader (RKK). Het vigerende ruimtelijk kwaliteitskader is tijdens ontwerploop 1 van de planuitwerkingsfase verder aangescherpt met name gericht op de vooroever. De eisen en wensen in zowel de KES en het RKK vormen een belangrijke input voor het technisch ontwerp, waar zoveel mogelijk rekening met deze eisen en wensen zal worden gehouden. Het zou echter best kunnen dat conflicten met andere (waterveiligheids)eisen en wensen naar voren komen tijdens het ontwerpproces. Hierdoor kunnen potentieel niet al deze eisen en wensen vervuld worden. Belangrijke afwegingen tussen conflicterende eisen en wensen worden, in overleg met het waterschap, gemaakt in het ontwerpproces, waarbij mogelijk het afweegkader wordt gebruikt.

1.4.3 Ontwerpdoelen Ontwerploop 2

Voor de vooroever zullen de volgende aandachtspunten voor het ontwerp in ontwerploop 2 (minimaal) worden beschouwd:

- Onderbouwing hoofddimensies vooroever en vooroeverdam, ook in relatie met overige faalmechanismen;

Projectgerelateerd

- Optimalisatie en vastlegging van exacte traject/ minimaal aan te houden afstand tot Maxima-centrale en Flevokust;
- Nadere landschappelijke uitwerking van overgang vooroever naar traditioneel en andersom;
- Optimalisatie/minimalisatie van de onderhoudsinspanning;
- Optimalisatie van de gewenste biodiverse inrichting;
- Afronden referentie-ontwerp;
- Het in beeld brengen van de (marges) van de vrijheidsgraden voor de aannemer.
- Raakvlakken vooroever met omgeving in meer detail ontwerpen, concreet o.a.: inrichting futenrustgebied, de visfuisen, de aansluiting met landhoofd Ketelbrug, de aanleg van de kabel tussen Windplanblauw en de Flevopolder en de hevel Lelystad Noord (garantie voor het inlaten van voldoende en schoon water).
- Aandacht voor de beheerbaar- en inspecteerbaarheid van de vooroeven, opstarten met beheerplan en EcoShape hierin betrekken;
- Effectbepaling van de vooroever in beeld brengen voor de MER;
- Indien noodzakelijk: ontwerp aanpassen aan mogelijke aanwezigheid van archeologische waarden en bodemgesteldheid.
- Het opstellen van een uitvoeringsplanning, inclusief uitvoeringsrisico's beter in beeld krijgen;
- Start met het vertalen van het referentie-ontwerp naar contracteisen.
- Onzekerheden, robuustheidsanalyse opstellen;

Voor de traditionele versterking binnendijks/vierkant bij Meerdijk-midden en Baaidijk Midden, -waar de vooroever niet mogelijk is- zijn de belangrijkste aandachtspunten in de ontwerploop 2:

- Definitieve keuze versterking Meerdijk Midden: volledig binnenwaarts of vierkant;
- Toets op alle faalmechanismen;
- Gebruik van nieuwe GEBU/GEKB tool;
- Robuustheidsanalyse;
- Toets op ruimtelijke inpassing;
- Afspraken maken met beheerders van kabels en leidingen;
- Ontwerptekeningen op VO-niveau
- Afronden referentie-ontwerp;
- Het in beeld brengen van de (marges) van de vrijheidsgraden voor de aannemer.

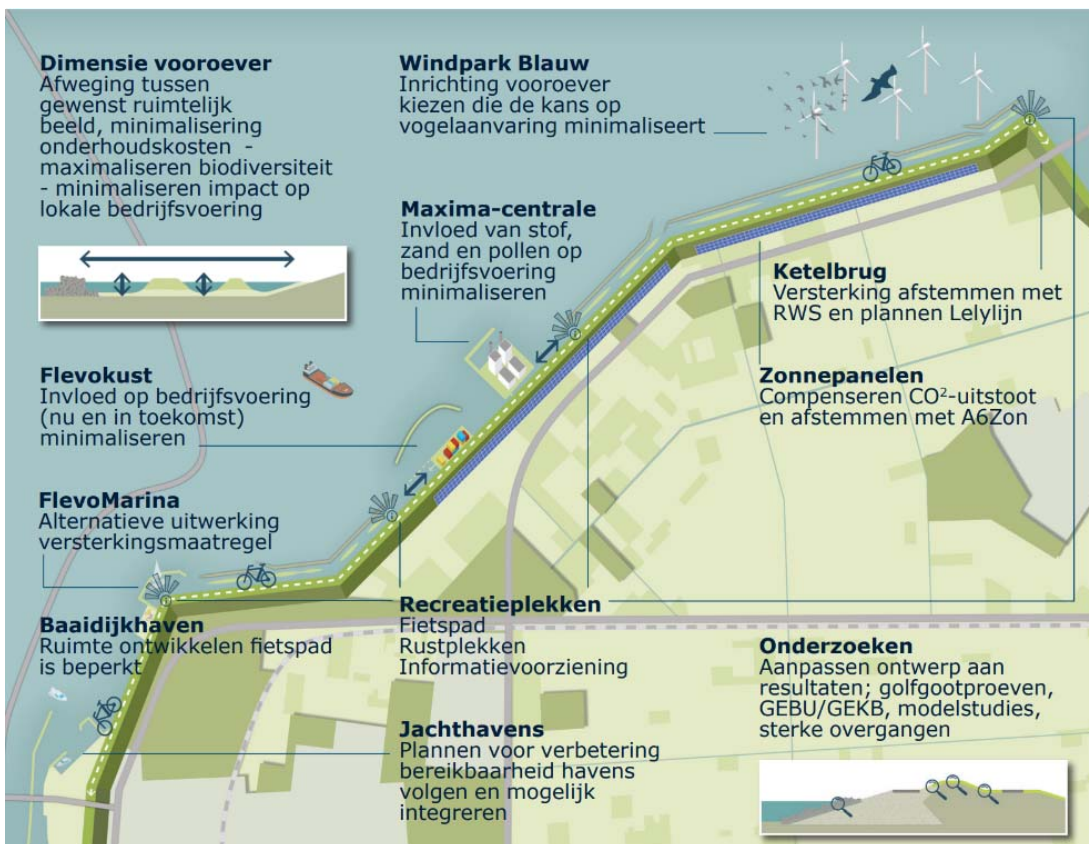
Voor de maatwerkvakken zijn de belangrijkste aandachtspunten in ontwerploop 2:

- Nadere uitwerking en maken van definitieve keuzes voor maatwerkvakken Flevokust en Maxima-centrale, in nauwe samenwerking met de betreffende stakeholders.
- Inpassingsopgave (veilig) beheerpad FlevoMarina.
- Inpassing verhoogd beheerpad, welke geschikt is voor fietsen en wandelen.
- Raakvlak met kabels en leidingen;
- Toets op alle faalmechanismen;
- Robuustheidsanalyse;
- Toets op ruimtelijke inpassing;
- Ontwerptekeningen op DO-niveau
- Afronden referentie-ontwerp;
- Het in beeld brengen van de (marges) van de vrijheidsgraden voor de aannemer

Voor de mogelijke optimalisaties geldt dat op voorhand niet met zekerheid is vast te stellen dat een optimalisatie ten opzichte van het huidige ontwerp (verkenningfase) überhaupt mogelijk is. Een visualisatie van de ambities en issues per hoofdtraject is weergegeven in Figuur 1-15. Een visualisatie van de belangrijkste raakvlakken (deels met derden) is weergegeven in Figuur .



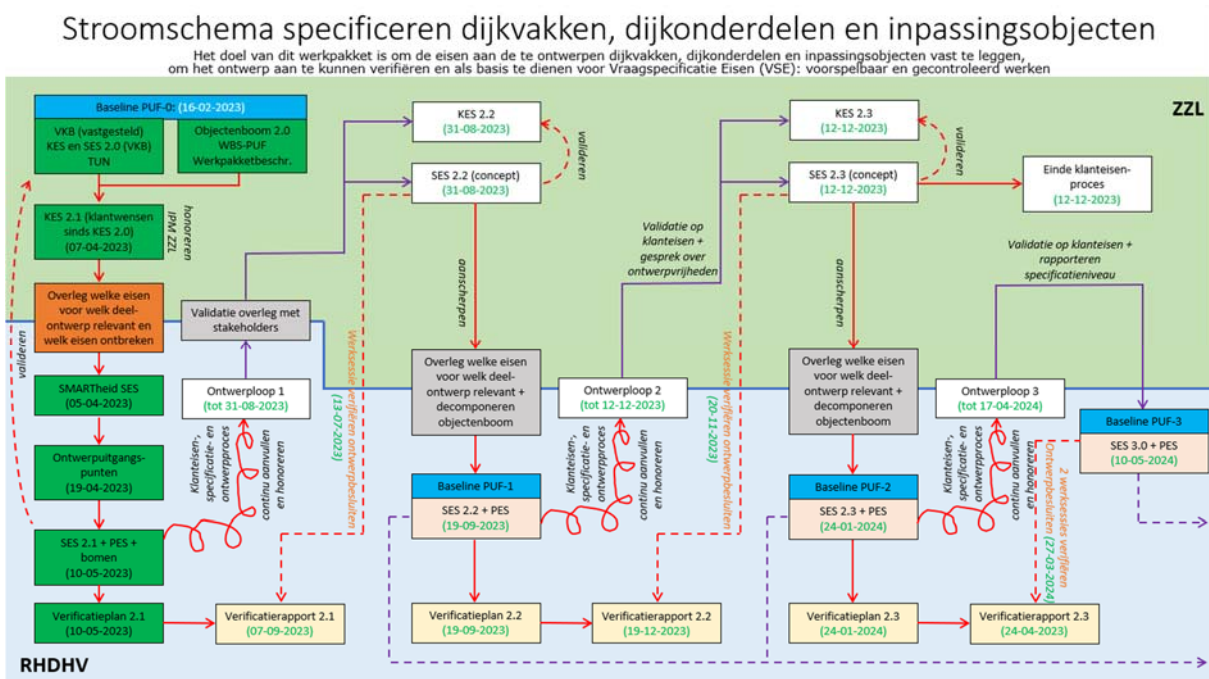
Figuur 1-15: Visualisatie ambities en issues planuitwerkingsfase.



Figuur 1-16: Raakvlakkenkaart dijkversterking IJsselmeerdijkRelatie ontwerp en SE

1.5 Relatie met SE

In het IJMD SEMP [221103] is de aanpak t.a.v. het toepassen van Systems Engineering (SE) bij het project IJsselmeerdijk (IJMD) toegelicht. De aanpak is gericht op het SE-proces gedurende de planuitwerkingsfase voor het gehele projectteam. Onderstaand is de aanpak beschreven van de interactie tussen het ontwerp en de klant- en systeemeisen. Dit is in Figuur 0 schematisch weergegeven en wordt in deze paragraaf kort toegelicht.



Figuur 1-17: System Engineering i.r.t. het ontwerp bij IJMD

Om de interactie tussen het ontwerp en Systems Engineering goed te laten verlopen worden een aantal stappen doorlopen in de planuitwerkingsfase waarbij het ontwerp en SE in elkaar haken. Deze worden hieronder kort toegelicht:

1. Om een goede Vraagspecificatie Eisen (VSE = contractdocument) op te stellen dient hierin een heldere structuur aangebracht te worden. Dit resulteert in een objectenboom, functieboom en een overzicht van de contextobjecten. De systeemeisen worden in Relatics hieraan gekoppeld waarmee een heldere structuur van systeemeisen ontstaat.
2. De systeemeisen in de VSE komen voort uit:
 - a. gehonoreerde klant-eisen (via de KES 2.1/KES 2.2/KES 2.3) via Zuiderzeeland;
 - b. aanvullende eisen van de beheerder (basisspecificatie dijken, SOR, wegbeheerder) via ZZL;
 - c. het ontwerp (gedurende OL1/OL2/OL3) via ontwerpteams.

De ontwerpuitgangspunten zijn eisen waar het ontwerp aan moet voldoen en worden opgenomen in de uitgangspuntennotitie per ontwerploop. Dit document wordt aangehaald in een systeemeis. We ontwerpen zodanig dat het ontwerp aan deze eisen voldoet en tonen dit bij het einde van elke ontwerploop aan middels een verificatierapport. Afhankelijk van de wijze waarop de aanbesteding gaat verlopen wordt de uitgangspuntennotitie of alleen enkele eisen uit de notitie opgenomen als eis in het ontwerp.

3. De ontwerpers krijgen bij de start van een ontwerploop de set met systeemeisen waaraan hun deel van het ontwerp* moet voldoen. De wijze waarop deze systeemeisen gaan worden geverifieerd tijdens de planuitwerkingsfase wordt door de ontwerpers in beeld gebracht

Projectgerelateerd

(verificatieplan). Hiermee is het voor de ontwerpers duidelijk aan welke systeemeisen het ontwerp moet voldoen en welke ontwerpwerkzaamheden moeten worden verricht om de systeemeis aan het einde van een ontwerploop te kunnen verifiëren. Nieuwe of aanvullende systeemeisen die gaandeweg een ontwerploop worden toegevoegd worden eveneens meegegeven. Doordat de ontwerpers aan het einde van een ontwerploop de eisen aan het ontwerp verifiëren tegen het ontwerp (verificatierapport) is de kwaliteit en aantoonbaarheid van het ontwerp gegarandeerd. Hiermee is een continue relatie tussen SE (via de KES en SES) en TM (ontwerp en verificatie) bewerkstelligd. De overkoepelende ontwerpleider (Sander Post) monitort dat de ontwerpers dit proces expliciet volgen en rapporteren in Relatics.

- Om het hiervoor genoemde proces goed te kunnen laten verlopen worden in Relatics de objecten in de objectenboom gekoppeld aan een (deel)ontwerpleider. Via de relatie tussen een systeemeis en een object is daarmee duidelijke wie welke systeemeis gaat verifiëren. Het is goed mogelijk dat een systeemeis tijdens een ontwerploop moet worden aangepast om een goed ontwerp te kunnen maken. Deze wijziging in eistekst wordt expliciet bijgehouden in Relatics. Dit gebeurt eveneens voor systeemeisen die kunnen vervallen.

* In de onderstaande lijst zijn de onderdelen van het technische ontwerp weergegeven. Tussen haakjes staat de ontwerpverantwoordelijke van het onderwerp welke verantwoordelijk is voor de verificatie van de bijbehorende systeemeisen:

Ontwerponderwerp	Verantwoordelijke	Ontwerponderwerp	Verantwoordelijke
Teenconstructie	Maarten Schoemaker	Ruimtelijke kwaliteit	Michiel Brink
Zetsteen buitentalud	Stanley Versteeg	Kabels en Leidingen	Jan Valk
Asfalt buitentalud	Stanley Versteeg	Duurzaamheid	Michiel Wolbers
Zetsteen buitentalud boventalud	Stanley Versteeg	Geohydrologie	Ron Stroet
Grasbekleding, kruin en binnentalud	Martijn Huis in 't Veld	geotechniek	Clara Spooenberg
Vooroever afmetingen en beheer	Vincent Vuik	Conditionerenede onderzoeken	Han de Jong
Vooroever materiaalkeuze	Jasper Fiselier	Contract	Marco Eversdijk
Vooroever ecologische inpassing	Martin de Haan	Risico's	Bart Mante
Vooroeverdam	Maarten schoemaker	Raming	Wouter Kanger
Overgangen	Michiel Brink	Uitvoeringsaspecten	Gerard van Raalte
Maatwerkvakken	Michiel Brink	Omgeving, projectbesluit, vergunningen, MER	Jeroen de Bode
Wegen en mobiliteit	Haitze Witteveen	Topeis	Sander Post
Recreatieve voorzieningen (fiets en wandelpad)	Michiel Brink		
Inpassingsvraagstukken	Sander Post		

2 Functionele en ruimtelijke uitgangspunten

2.1 Functionele uitgangspunten

De IJsselmeerdijk dient de bestaande functies en autonome ontwikkelingen een plek te bieden, mits deze verenigbaar zijn met waterveiligheid en beheer, zoals:

- Verkeersfuncties;
- Nutsvoorziening;
- Economische functies (bedrijvigheid);
- Woon- en verblijfsfuncties;
- Recreatieve functies;
- Ecologische functies;
- Natuurlijke, landschappelijke en cultuur-historische waarden.

Betreft het IJsselmeergebied gaat dit ten minste om: (SE_00019)

- De natuurlijke en ecologische kwaliteit (Natura2000);
- De waterkwaliteit;
- Visserij;
- Recreatie op en aan het water;
- Beroepsvaart;
- Bedrijvigheid (actueel en autonoom).

Voor een volledig overzicht van de te behouden functies in het projectgebied wordt verwezen naar SES 2.1.

2.1.1 Beheer

Functionele eisen komen vaak voornamelijk voor uit de beheerorganisatie. Eisen omtrent beheer zijn opgenomen in de systeemeisen voor het ontwerp, zie SES 2.1 (Bijlage A).

Voornamelijk het beheer van een zandige vooroever is nieuw voor de beheerder van ZZL. Het beheer zal voornamelijk bestaan aan het aanvullen van de vooroever en schadereparaties aan de vooroeverdam.

In ontwerploop 1 is specifieke aandacht besteed om de beheerinspanning te minimaliseren en inspectie te faciliteren. In ontwerploop 2 stellen we met de afdeling beheer een beheerplan op voor de vooroever en de traditionele dijk. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de vrijheidsgraden voor de aannemer; met andere woorden het beheerplan wordt opgesteld voor het referentie-ontwerp.

2.1.2 Uitbreiding na levensduur

De Versterkte IJsselmeerdijk dient zodanig te zijn ingericht en opgebouwd dat deze in de toekomst te versterken is. In principe is elke dijk in de toekomst technisch te versterken. Maar het gaat er om of dit op een kosteneffectieve manier gedaan kan worden. Om aan deze eis te voldoen is uitbreidbaarheid een afweegcriterium in het afweegkader.

Vooroever

De vooroever is in principe een goed uitbreidbare oplossing. De oeverhoogte kan meegroeien met meerpeilstijgingen. Het is van belang dat er geen opgave voor de dijk ontstaat. In ontwerploop 1 is gezocht naar dimensies van de vooroever die leiden tot een robuust ontwerp met goede uitbreidingsmogelijkheden. Hierbij is vooral gefocust op één maatgevende locatie. In ontwerploop 2 wordt

deze toets uitgebreid voor meer locaties langs de dijk. Ook wordt in ontwerploop 2 een robuustheidsanalyse uitgevoerd en worden de onzekerheden in het ontwerp beter in beeld gebracht.

Traditionele versterking

Voor de traditionele versterkingsdelen geldt dat ook deze op een (redelijk) kosteneffectieve manier (bij voorkeur in grond) uit te breiden dient te zijn. Hier kan bijvoorbeeld gedacht worden aan het plaatsen van een bredere kruin/berm die gemakkelijk kan worden opgehoogd. Ook voor de traditionele versterking wordt in ontwerploop 2 een robuustheidsanalyse uitgevoerd.

2.1.3 Vooroever

Voor de trajecten met vooroever dient de combinatie van dijk en vooroever aan de waterveiligheidseisen te voldoen. De vooroever fungeert als belastingrem door het verlagen van de golven. De dijk moet vervolgens de gereduceerde hydraulische belastingen kunnen keren. De vooroeverdam dient primair als opsluiting van de vooroever, zodat deze zowel tijdens dagelijkse als extreme condities morfologisch voldoende stabiel is. Secundair heeft de vooroeverdam ook invloed op de golfbelastingen op de dijk. In ontwerploop 1 is onderzocht of de vooroeverdam wel/niet in rekening moet worden gebracht bij het ontwerp van de dijk. Een dam zonder primaire waterkerende functie hoeft namelijk aan minder hoge eisen te voldoen en kan dus ontworpen worden op minder extreme condities. Echter is gebleken in ontwerploop 1 (o.a. uit de golfgootproeven) dat de combinatie vooroeverdam, grondlichaam en dijk moeilijk los van elkaar is te beschouwen en dat juist de combinatie zo goed werkt om aan de waterveiligheidseisen te voldoen. Uitgangspunt in ontwerploop 2 is dus dat de vooroeverdam dus onderdeel is van de primaire waterkering.

Naast de primaire functie van belastingreductie moet de vooroever ook aan diverse andere functionele eisen voldoen:

- Ecologie;
- Waterkwaliteit;
- Watertemperatuur;
- Effecten op Maximacentrale;
- Effecten op Windplan Blauw.

3 Technische uitgangspunten

3.1 Ontwerpen met overstromingskans

3.1.1 Normering

In de Waterwet zijn twee normen gedefinieerd per dijktraject: een 'signaleringswaarde' en een maximale toelaatbare overstromingskans (ondergrens). De ondergrens mag niet overschreden worden. De signaleringswaarde betreft een kans kleiner, of gelijk, aan de ondergrens en dient als een waarschuwing voor de beheerder dat de kering mogelijk binnen afzienbare tijd de ondergrens onderschrijft. Dit geeft de beheerder gelegenheid en tijd om te starten met een dijkversterkingsproject.

Normtraject 8-3 voldoet momenteel niet aan de ondergrens. Van met de signaleringswaarde beoogde voorbereidingstijd is dan ook geen sprake. Conform het OI2014 v4^{2,3} is het ontwerp van een kering erop gericht om nog net te voldoen aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (ondergrens) aan het einde van de beoogde levensduur. De signaleringswaarde speelt bij het ontwerp dus geen directe rol.

In het geval van de IJsselmeerdijk is het mogelijk dat, na versterking, de dijk wel aan de ondergrens voldoet maar niet aan de signaleringswaarde. Dit komt omdat de hydraulische belasting slechts beperkt toeneemt gedurende de levensduur omdat het klimaatteffect in het merengebied klein is. Daarnaast zijn de keringen gefundeerd op een zandcunet waardoor de keringen beperkt zakken.

In Tabel 3-1 **Error! Reference source not found.** zijn de normen weergegeven zoals die binnen dit project worden gehanteerd.

Tabel 3-1: De faalkansnormen conform de Waterwet (kansen per jaar)

Kans	Traject 8-3: IJsselmeerdijk
Signaleringswaarde	1 / 30.000
Maximaal toelaatbare overstromingskans (ondergrens)	1 / 10.000 (SE_00001)

3.1.2 Uiterste grenstoestand en bruikbaarheidsgrenstoestand

De ondergrens (jaarlijkse kans op overstroming) betreft een uiterste grenstoestand (UGT). Onder extreme condities behorende bij de UGT faalt de dijk nog *nét* niet. Er is dan sprake van een zeer zware storm met zeer hoge golven die de dijk aanvallen, de bekleding doen falen en uiteindelijk (net niet) tot een bres en overstroming leiden. Onder deze condities hoeft de dijk niet te voldoen aan bruikbaarheidseisen vanuit bijvoorbeeld het beheer of eisen vanuit andere functies.

3.1.3 Faalkansruimte en lengte-effectfactoren

Een dijk kan als gevolg van verschillende oorzaken (faalmechanismen) bezwijken. Conform de Waterwet moet de som van de afzonderlijke kansen van deze faalmechanismen zo klein zijn dat deze gezamenlijke kans niet groter wordt dan de maximaal toelaatbare overstromingskans (ondergrens). Om dit rekenkundig hanteerbaar te maken worden de faalmechanismen onafhankelijk beschouwd en wordt een

² https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/142605/handreiking_ontwerpen_met_overstromingskans_feb2017.pdf

³ https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/142605/11202226-009-geo-0002-v2-r-werkwijzer_bepaling_hydraulische_ontwerprandvoorwaarden.pdf

Projectgerelateerd

faalkansbegroting toegepast. Door middel van deze begroting wordt aan elk van de faalmechanismen een faalkansruimte (ω) toegewezen. Dit zorgt ervoor dat ieder mechanisme een bepaalde bijdrage heeft aan de maximaal toelaatbare overstromingskans.

In het OI2014-v4 is een standaard faalkansbegroting opgenomen. Deze begroting van faalkansruimtes is gebaseerd op ervaring en in het algemeen gericht op een optimalisering van het dijkontwerp. Het ontwerpinstrumentarium OI2014-v4 geeft ruimte om deze standaard begroting aan te passen om zo de versterkingsopgave voor een specifiek project te optimaliseren.

Bij de IJsselmeerdijk is er voornamelijk sprake van een hoogtetekort. Hiervoor, is het aanpassen van de faalkansbegroting nader onderzocht. Hieruit is gebleken dat een groot deel van de faalkansruimte van het faalmechanisme piping (STPH) kan worden toegekend aan gras erosie kruin en binnentalud (GEKB) [40]. Hierdoor verandert, ten opzichte van de standaard faalkansbegroting, de faalkansruimte van STPH van 24% naar 4% en van GEKB van 24% naar 44%. Deze verschuiving leidt tot een reductie van de hoogteopgave van circa 40 cm. In de memo [41] is onderbouwd dat deze verschuiving de meest gunstige (kosten)reductie oplevert voor het dijkversterkingsproject. De nieuwe faalkansruimte van 4% leidt tot een zeer strenge eis voor piping. Aangetoond is echter dat dit geen probleem is, omdat de berekende pipingkansen zéér klein (verwaarloosbaar) zijn. Aandachtspunt is dat de nieuwe verdeling voor het hele normtraject geldt en dus ook voor het gedeelte langs het Markermeer. Dit gedeelte ligt buiten de scope van dit project, maar ook voor dit traject is aangetoond dat piping niet een dominant faalmechanisme is [40].

Anders dan tijdens de verkenningsfase is gekozen om de faalmechanismen gerelateerd aan de grasbekleding opnieuw samen te voegen. Dit resulteert in één gezamenlijk faalmechanisme 'Erosie grasbekleding' met een faalkansruimte van 49% (44% van GEKB en 5% van GEBU). Merk op dat de separate faalmechanismen gerelateerd aan de erosie van de grasbekleding door golfoverslag en overloop (GEKB) en golfklap en -oploop (GEBU) hierdoor vervallen. Er ontstaat een nieuw samengevoegd faalmechanisme Erosie Grasbekleding.

De resulterende faalkansbegroting voor normtraject 8-3 is weergegeven in Tabel 3-2 **Error! Reference source not found.** Voor faalmechanismen die worden beschouwd met een probabilistische analyse kan de faalkansbegroting achteraf nog worden aangepast. Voor faalmechanismen beschouwd met een semi-probabilistische analyse is dit niet wenselijk omdat de faalkansruimte van belang is in de analyse zelf.

Tabel 3-2: Faalkansbegroting voor de IJsselmeerdijk

Type waterkering	Faalmechanisme	ω [-]
Dijk	Erosie grasbekleding	0,49
	Opbarsten en Piping	0,04
	Macrostabieliteit binnenwaarts	0,04
	Beschadiging harde bekleding buitentalud	0,05
Kunstwerk	Niet sluiten	0,04
	Piping	0,02
	Constructief falen	0,02
Overig		0,30
Totaal		1,00

De faalkanseis (overstromingskans) op trajectniveau wordt vertaald naar een faalkanseis per faalmechanisme op doorsnede-niveau volgens onderstaande vergelijking **Error! Reference source not found.**

Vergelijking 1:
$$P_{eis,dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N}$$

Hierin is:

P _{eis,dsn}	: Eis op doorsnedeniveau	[per jaar]
P _{max}	: Maximaal toelaatbare overstromingskans op trajectniveau	[per jaar]
Ω	: Faalkansruimtefactor (zie Error! Reference source not found.)	[-]
N	: Lengte-effectfactor	[-]

Het lengte-effect (N) is trajectafhankelijk en kan voor de grasbekleding variëren tussen een waarde van 1, 2 of 3. In het OI2014-v4 [3] is voor het dijktraject 8-3 een N-waarde van 3 vastgesteld. Uit lopende onderzoeken van Deltares blijkt dat deze waarde mogelijk een lichte overschatting is. De ruimte hierin wordt niet meegenomen in de planuitwerkingsfase, maar kan in de toekomst wel gebruikt worden om mogelijk scherper te toetsen/beoordelen.

Voor de geotechnische faalmechanismen dient de N-waarde te worden berekend met onderstaande vergelijking **Error! Reference source not found.**:

Vergelijking 2:
$$N = 1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b}$$

Hierin is:

N	: Lengte-effectfactor	[-]
A	: Fractie van de lengte van het traject dat gevoelig is voor het betreffende faalmechanisme, voor dit traject: a= 0,40 voor STPH en 0,033 voor STBI.	[-]
B	: Lengte van onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende faalmechanisme, voor dit traject, voor dit faalmechanisme (b=300 voor STPH en b=50 voor STBI)	[m]
L _{traject}	: Lengte van het dijktraject waarop de norm van toepassing is, L = 22,7 km.	[m]

3.1.4 Ontwerplevensduur dijkversterking

Het doel is om de IJsselmeerdijk zodanig te versterken dat deze, gegeven de huidige inzichten, tot 2080 voldoet aan de ondergrens. Hierbij wordt nu de gehele dijk versterkt zodat deze toekomstbestendig is en er geen (extra) partiële versterking hoeft plaats te vinden gedurende de ontwerplevensduur.

Het uitgangspunt voor de planuitwerking is een ontwerplevensduur (planperiode) van 50 jaar voor versterking in grond en 100 jaar voor de constructies. De versterking is in 2028 afgerond, waardoor de planhorizon in het jaar 2078 zou liggen. Beleidsmatig is bepaald dat het meerpeil tussen 2050 en 2080 in totaal met 30 cm stijgt, waarna verdere stijging stopt omdat dit onwenselijk is voor de vele functies in en om het IJsselmeer. Het waterschap hanteert na 2100 echter een meerpeilstijging van 1 cm/jaar, wat in dit ontwerp alleen effect heeft op eventuele constructies, die vooralsnog niet zijn voorzien. Het ligt daarom voor de hand om het jaar 2030 als startwaarde voor de versterking aan te houden, zodat de volledige (beleidsmatige) meerpeilstijging tot 2080 in het ontwerp wordt meegenomen.

De ontwerplevensduur van de dijkversterking planuitwerkingsfase is daarmee:

- Grondconstructies: ontwerplevensduur 50 jaar en zichtjaar 2080 (inclusief peilstijging 30 cm)

- Constructieve elementen: ontwerplevensduur 100 jaar en zichtjaar 2130 (inclusief peilstijging 60 cm).

Daarnaast dient de IJsselmeerdijk te zijn samengesteld uit materialen die een levensduur hebben die minimaal overeen komt met de gebruikte levensduur uit die LCC-analyse.

3.2 Algemene technische uitgangspunten

3.2.1 Hydraulische belastingen

De IJsselmeerdijk dient de hydraulische belasting door buitenwater te kunnen keren volgens belastingmodel als opgenomen in de vigerende hydraulische database. De kans op een bepaalde combinatie van waterstand en golfcondities volgt uit berekeningen met deze database door toepassing van het zogenaamde belastingmodel voor het IJsselmeer, in Hydra-NL of Riskeer. Het vertrekpunt in de planuitwerking is de database 'WBI2017_IJsselmeer_8-3a_v02_PR4161.sqlite' voor het bepalen van waterstanden en golfcondities. Deze database is vastgesteld in de verkenningsfase van het project. De belangrijkste uitgangspunten in de database zijn hieronder toegelicht:

- Trapeziumvormig waterstandsverloop van 35 uur.
- De belasting is in combinatie met de trapeziumvormig verloop van opbouw windsnelheid gedurende storm, met een stormduur van 48 uur en een 2 uur durende piek. Pas bij hogere windsnelheden reageert de waterstand; vandaar verschil tussen 35 en 48 uur.
- Vigerende meerpeil- en windstatistiek (WBI2017).

De database uit de verkenningsfase is een aangepaste versie van de WBI2017 database 'WBI2017_IJsselmeer_8-3a_v02.sqlite'⁴. In de database zijn op basis van nader onderzoek naar de modelonzekerheden van de hydraulische belastingen op het IJsselmeer [46] de volgende wijzigingen doorgevoerd:

- Bias-correctie van de onzekerheden op golfhoogte en -periode;
 - De bias van de significante golfhoogte is aangepast van 0,99 naar 1,01;
 - De bias van de spectrale/piek golfperiode is aangepast van 0,96 naar 1,04.
- Aanscherping modelonzekerheden waterstanden;
 - De standaarddeviatie van de onzekerheid van de waterstand is aangepast van 0,30 m naar 0,20 m [10].
- Toevoeging correlatiecoëfficiënt ($\rho = 0,37$) tussen de modelonzekerheden van de significante golfhoogte en spectrale/piek golfperiode.

Naast bovengenoemde wijzigingen uit de verkenningsfase hebben Deltares en RHDHV/HKV in april en mei 2023 onderzoek uitgevoerd naar mogelijke aanscherping van de modelonzekerheden van de significante golfhoogte (gemiddelde en standaardafwijking). In de verkenningsfase kwam namelijk naar voren dat fysisch onrealistisch hoge golfhoogtes gevonden werden als gevolg van de toepassing van deze modelonzekerheid. Uit nader onderzoek naar deze modelonzekerheid volgt dat het raadzaam is om voor dit project een aanscherping te doen van de standaardafwijking (σ) op de significante golfhoogte. Daarbij wordt de huidige waarde van 0,19 aangepast naar een aangescherpte waarde van 0,10. Wel wordt aanbevolen om kritisch te blijven beschouwen of deze aanscherping niet resulteert in een onderschatting

⁴

[https://fbwv1.stackstorage.com/s/cQJwECwRv88jqsc?dir=%2FToets%20\(eenvoudig%20tm%20gedetailleerd\)%2FMeren%2F07_ijsselmeer&node-id=36729](https://fbwv1.stackstorage.com/s/cQJwECwRv88jqsc?dir=%2FToets%20(eenvoudig%20tm%20gedetailleerd)%2FMeren%2F07_ijsselmeer&node-id=36729)

van de golfbelasting in situaties of locaties waar de golfhoogte niet diepte-gelimiteerd is of waar sterke shoaling op kan treden.

Een ander aandachtspunt is de mate van correlatie tussen de modelonzekerheden in de golfhoogte en golfperiode. Deze is standaard $\rho = 0,37$. Als gevolg van dieptelimitatie is er bij de IJsselmeerdijk echter (nog) minder correlatie tussen de onzekerheid in de golfperiode en golfhoogte. Een betere waarde van de correlatiecoëfficiënt is in dit stadium echter niet af te leiden. Door de huidige waarde van $\rho = 0,37$ te hanteren zijn we conservatief in ons uitgangspunt.

Een volledige toelichting en achtergrond op bovengenoemde aanscherping is opgenomen in [48]. De conclusies zijn verwerkt in een update van de meest recente database en heeft de naam 'WBI2017_IJsselmeer_8-3a_v02_PU_zondervoorland.sqlite'⁵ gekregen, waarbij PU verwijst naar de planuitwerkingsfase en 'zondervoorland' verwijst naar het feit dat in deze database geen vooroever verwerkt is (zie alinea hieronder).

In de planuitwerking wordt de betreffende hydraulische database toegepast voor (1) het ontwerp van de dijksegmenten zonder vooroever en (2) als bron-database bij dijkvakken met vooroever. In geval van een dijkontwerp met vooroever worden de verschillende hydraulische condities (in de database) vertaald naar condities bij de teen van de dijk, waarmee vervolgens gecontroleerd wordt of de aanwezige dijk hoog genoeg is (verificatie). Immers: bij een vooroever is het niet de bedoeling de huidige dijk te versterken, maar moeten de huidige dijk en de vooroever samen voor voldoende veiligheid zorgen. Dit is in meer detail beschreven in paragraaf 3.3.2.1.

3.2.2 Klimaatverandering

In de planuitwerking is het uitgangspunt klimaatscenario 'KNMI'06 W+'. Met een ontwerplevensduur 50 jaar (zichtjaar 2080) voor grondconstructies en een ontwerplevensduur van 100 jaar (zichtjaar 2130) voor constructieve elementen is het noodzakelijk het effect van klimaatverandering mee te nemen.

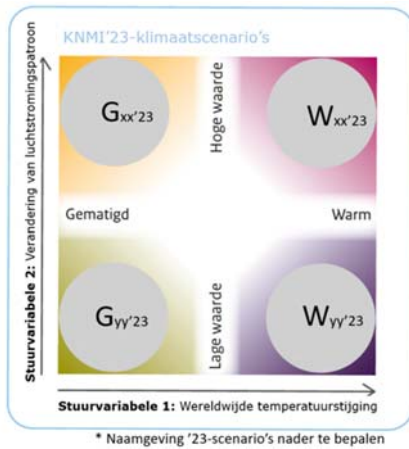
Klimaatverandering heeft alleen effect op het (gereguleerde) meerpeil waardoor het effect op de hydraulische belastingen beperkt is voor het IJsselmeer. Beleidsmatig is bepaald dat er ruimte is om het meerpeil tussen 2050 en 2080 met in totaal 30 cm mee te laten stijgen met de zeespiegel, waarna verdere stijging stopt omdat dit onwenselijk is voor de vele functies in en om het IJsselmeer. Het waterschap hanteert na 2100 echter een meerpeilstijging van 1 cm/jaar, wat in dit ontwerp alleen effect heeft op eventuele constructies, die vooralsnog niet zijn voorzien. Dit resulteert in 30 centimeter meerpeilstijging voor grondconstructies en 60 centimeter meerpeilstijging voor constructieve elementen.

Tot nu toe is nog geen relatie gevonden tussen de overschrijdingskansen van windsnelheden en klimaatverandering. De windstatistiek voor het ontwerp is daarom gelijk aan de huidige windstatistiek (WBI2017).

In oktober 2023 publiceert het KNMI nieuwe klimaatscenario's. Zie:

<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/op-weg-naar-nieuwe-knmi-klimaatscenario-s>

⁵ "zonder_voorland" betreft een verwijzing naar het feit dat in de database geen lokaal voorland en/of vooroever verwerkt is.



Figuur 3-1 schets KNMI '23 scenario's

De verwachting is dat de nieuwe scenario's (zeespiegel, rivierafvoer, wind) voor de belastingen op de IJsselmeerdijk geen significant effect hebben.

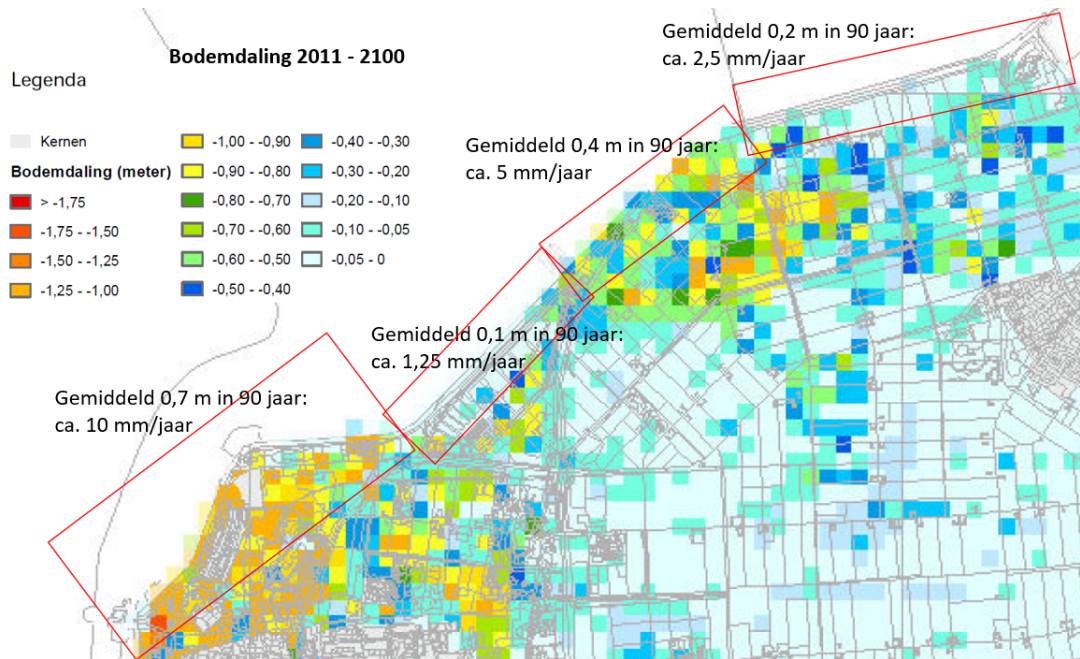
3.2.3 Bodemdaling, zetting en klink

De totale maaiveldzakking omvat de volgende drie componenten: (SE_00017)

1. Bodemdaling: resultante van alle (natuurlijke) bodemdalingsprocessen, waaronder oxidatie van veen, rijping en compactie;
2. Zetting: proces waar de ondergrond onder invloed van een (nieuw aangebrachte) belasting wordt samengedrukt;
3. Klink: compactie van het aangebrachte materiaal onder invloed van het eigen gewicht. Deze componenten tezamen bepalen de totale maaiveldzakking.

Bodemdaling

Uit de "Bodemdalingskaart Flevoland" (Grontmij, 2012) [17] is onderstaande figuur ontleend. Op basis hiervan is een indeling gemaakt in 4 trajecten, waarin een verschillende gemiddelde jaarlijkse bodemdaling van toepassing is. De grootte van de bodemdaling hangt voornamelijk samen met de aanwezigheid van veenlagen hoog in het bodemprofiel. De genoemde waarden zijn van toepassing op het oorspronkelijk bodemprofiel, het achterland vanaf de binnenteen van de dijk. Voor bodemdaling van het dijklichaam wordt voorgesteld uit te gaan van ca. 1 mm/jaar.



Figuur 3-2: Prognose Bodemdaling 2011 – 2100. Ontleend aan Bodemdaling Flevoland (Grontmij, 2012)

Zetting

Door het aanbrengen van ophoogmateriaal ten behoeve van de dijkversterking, zal zetting optreden. De omvang van de te verwachten zetting zal worden berekend met behulp van het programma D-Settlement. De samendrukkingsparameters van de zettingsgevoelige veen- en kleilagen behorend tot de oorspronkelijke IJsselmeerbodem, zijn afgeleid op basis van het aanvullend veld- en laboratoriumonderzoek. Tevens zal inzicht worden gegeven in het tijd-zettingsverloop om inzicht te verkrijgen in de te verwachten restzettingen en (rest)zettingsverschillen. Bij de ophoging ten behoeve van de traditionele dijkversterking zal de focus met name liggen bij het minimaliseren van restzettingsverschillen tussen de huidige op een zandcunet gefundeerde dijk en de uitbreiding welke grotendeels op de samendrukbare ondergrond is voorzien. Bij de ophogingen ten behoeve van de vooroeverdams en vooroeverplateau, zal de nadruk gelegd worden op materialisatie in relatie tot de totale omvang van de zettingen en uitvoeringsstabiliteit.

Klink

Voor de traditionele versterking welke boven water plaats vindt, wordt voor de klink van klei rekening gehouden met 10% van de ophoging; voor zand wordt rekening gehouden met een 5% van de ophoging. Bij de vooroeverdams en vooroever hangt de te verwachten klink samen met de materialisatie en uitvoeringswijze. Omdat deze zoveel mogelijk vrij dienen te worden gelaten ter invulling aan de aannemer, worden op basis van bandbreedtes de functionele eisen voor de uitvoering bepaald. Hierbij wordt tevens gekeken naar de omvang van beheer en onderhoud voor de verschillende varianten in de gebruiksfase.

3.2.4 Grondwaterstanden

De grondwaterstanden (stijghoogte en freatisch vlak) zijn relevant voor het geotechnisch ontwerp en de geohydrologische beoordeling van de effecten van de dijkversterking. Polderpeilen, slootpeilen, het verloop van het freatische vlak en het verloop van de waterspanningen in de watervoerende lagen zijn locatieafhankelijk en zullen dan ook per profiel worden geschematiseerd, analoog aan de wijze waarop dat bij de beoordeling en in de nadere veiligheidsanalyse is gedaan. De in het Technisch Rapport Waterspanningen [19] bij dijken beschreven schematiseringswijze is van toepassing. Uitgangspunt is dat

de buitenwaterstand aan het einde van de planperiode 30 cm hoger is dan nu, wat vanzelfsprekend doorwerkt in de waterspanningen en het verloop van het freatisch vlak. Dit wordt gezien als autonome ontwikkeling.

De te raadplegen databronnen voor de planuitwerkingsfase zijn onder meer:

1. Logboek STBI, Macrostabieliteit binnenwaarts. November 2018 [18], inclusief de bijlagen 7 (schematisatie waterspanningen) en 9 (toename freatisch vlak door overslag)
2. Polderpeilen en slootpeilen, afkomstig uit het peilbesluit zoals opgenomen in het beheerregister van waterschap Zuiderzeeland, online toegankelijk via de interactieve kaart (<https://geo-zzl.opendata.arcgis.com/>)
3. Gemeten waterstanden van de kwelsloot (aanlevering Zuiderzeeland), data wordt ontsloten via de GIS-viewer
4. <https://data.nhi.nu/>
5. Voor de indringingslengte, d.w.z. de verticale afstand aan de onderzijde van de slecht doorlatende deklaag waarover de waterspanning in de deklaag verandert bij waterspanningsvariaties in de watervoerende zandlaag, wordt de standaard waarde uit de WBI2017 schematiseringshandleiding macrostabieliteit aangehouden.
6. De dikte van het watervoerend pakket (aquifer) wordt overgenomen uit de beoordeling en bedraagt 30 meter.
7. Doorlatendheden van de pleistocene zanddeklaagen worden overgenomen uit de beoordeling. Er is in alle scenario's sprake van een fijne dekzandlaag (SOS-eenheid P_Wdz_zf) met kgemiddeld = 20 m/dag en daaronder de grovere afzettingen P_Rg_zm en P_Mg_zm, beide met een kgemiddeld = 36 m/dag.
8. De doorlatendheden van de holocene deklaag (klei /veen), direct naast het zandcunet van de dijk, wordt overgenomen uit de beoordeling. Voor de deklaag van het IJsselmeer (IJsselmeerbodem) is bij de beoordeling (veilig), een factor 4 groter dan wat blijkt uit het regionale grondwaterstromingsmodel Azure, op kv = 0,001 m/dag gekozen. De doorlatendheid van de deklaag in het achterland is aangenomen op 0,05 m/d, wat overeenkomt met de waarden voor de deklaag uit het regionale
9. Het grondwaterstromingsmodel Azure wordt gebruikt om inzicht te verkrijgen in de effecten van de dijkversterking (met name de aanleg van de vooroeverdam – cunetvariant) in beeld te brengen. Hierbij wordt ingezoomd op zowel de effecten op het freatisch vlak in de binnenteen van de dijk (vernating/verdroging) als op een eventuele verhoging van de stijghoogte en de hiermee samenhangende toename van het kweldebiet.
10. Met behulp van MSeep analysys wordt de waterdruk in de binnenteen gemodelleerd ten behoeve van de beoordeling op STMI/GABI.

3.2.5 Verkeersbelasting

Op de kruin van de IJsselmeerdijk ligt geen weg, zodat daar ook géén verkeersbelasting van toepassing is. Op de buitenberm ligt een onderhoudspad en op de binnenberm ligt op een groot deel van het tracé een verkeersweg.

In de Technische Leidraden is de standaard verkeersbelasting op een dijk met een weg 13,3 kN/m, dit is equivalent aan een aaneengesloten rij vrachtwagens met zand op de dijk. Deze verkeersbelasting zal, zeker onder normomstandigheden bij dit dijktraject niet optreden en past daarom ook niet goed bij de overstromingskansbenadering. Er wordt daarom zonder verkeersbelasting onder extreme omstandigheden gerekend.

3.2.6 Aardbevingsbelasting

Aardbevingsbelasting speelt geen rol. Het gebied is niet aardbevingsgevoelig, de fundering van de dijk is stabiel (cunet, zandkern) en er is geen correlatie tussen een eventuele aardbeving en een hoogwatersituatie.

3.2.7 Overige belastingen

Op het IJsselmeer kan kruierend ijs voorkomen dat over de dijk heen schuift en daarmee de dijkbekleding (steen, asfalt, gras) kan beschadigen. Langs bijvoorbeeld het eiland Marken op het Markermeer zijn daarom op diverse plaatsen ijsbrekers geplaatst, vooral ook om bebouwing achter de dijk te beschermen.

Kruierend ijs is géén belasting die bepalend is voor de keuze van mogelijke alternatieven of het uiteindelijke VKA. Het is wél een aspect om rekening mee te houden bij het ontwerp van de teenbestorting, en de bekleding buitentalud, kruin en binnentalud. Kruierend ijs drukt uitstekende obstakels weg en ijsschotsen kunnen zelfs dwars door de bekleding heen gedrukt worden. Wanneer kruierend ijs de dijk op wordt gedrukt kan een aanzienlijke berg met groot gewicht ontstaan. Dit gewicht drukt op de bermen en in uitzonderlijke gevallen ook op de kruin, wat leidt tot samendrukking en daarmee (lokale) verlaging van de dijk. Kruierend ijs heeft echter geen significante bijdrage aan de overstromingskans, vanwege het feit dat het relatief weinig voorkomt, niet over zeer grote strekkingen optreedt en ook niet tot een bres in de dijk leidt. Kruierend ijs is daarmee niet 'maatgevend' voor de overstromingskans.

Optredende schade zal direct na inspectie, zodra dat mogelijk is, door de dijkbeheerder hersteld moeten worden zodat de dijk weer gesteld staat voor een eventuele storm. Het is daarom voor de dijkbeheerder zeker een fenomeen om rekening mee te houden. Kruierend ijs kan/zal vooral schade veroorzaken aan de teenbestorting van de dijk en de vooroeverdam.

Uit een expertsessie voor de Oostvaardersdijk bleek dat aanvaren geen significante bijdrage aan de overstromingskans heeft. Hiervoor zijn verschillende argumenten. Allereerst zal er bij zeer zware stormcondities geen tot weinig scheepvaart plaatsvinden. Tussen aanvaringen en stormcondities lijkt geen correlatie te zijn. Daarnaast kunnen enkel grote zware schepen tot significante schade leiden die erosie van het buitentalud tot gevolg kunnen hebben. Deze liggen echter diep waardoor ze lager op het talud – ter plaatse van keileemperskade – vastlopen, wat de kans op erosie verkleint. Daarnaast is de belastingduur van de storm kort waarmee de kans op een gelijktijdige aanvaring zeer beperkt is.

3.2.8 Reststerkte grasbekleding in de golfploopzone

Recent onderzoek heeft aangetoond dat onderliggende kleilagen van de grasbekleding in de golfploopzone significant bijdraagt aan de sterkte tegen erosie. Deze kennis is tot op heden niet beschikbaar in het huidige probabilistische model ('GEBU-GEKB tool'). Deltares bouwt op dit moment aan een nieuwe versie waarin deze nieuwe kennis wel verankerd is.

Voor ontwerploop 1 is voor het ontwerp van de waterkering zonder vooroever nog gerekend worden met het huidige rekenmodel. Gezien de ervaringen met deze nieuwe inzichten is het aannemelijk dat de faalkans als gevolg van GEBU-golfploop slechts marginaal bijdraagt aan de faalkans. Om deze reden zal het faalmechanisme GEBU-golfploop vooralsnog uitgezet worden, waarmee enkel GEBU-golfklap en GEKB tot falen kunnen leiden. Dit kan resulteren in een kleine onderschatting van de overgangshoogte van de harde naar zachte dijkbekleding. In ontwerploop 2 wordt met de nieuwe (volledige) GEBU-GEKB tool gerekend, waarbij de aannames van ontwerploop 1 worden geverifieerd.

3.2.9 Externe kennisontwikkelingen, onderzoeken en processen

Naast bovengenoemde ontwikkelingen staan de ontwikkelingen in de waterveiligheid niet stil. Hieronder zijn de belangrijkste bekende ontwikkelingen kort toegelicht en hoe hiermee omgegaan wordt ten aanzien van de planuitwerking. Het is echter mogelijk dat deze lijst aangevuld, of verkleind wordt bij nieuwe ontwerploops. Voorafgaand aan ontwerploop 2 toetsen we onderstaande uitgangspunten op basis van beschikbaar gekomen informatie. Dit kan leiden tot heroverweging van het uitgangspunt.

BOI2023 instrumentarium

Het BOI2023 instrumentarium is de opvolger van het WBI2017 en OI2014v4. Het instrumentarium komt tweede helft van 2023 beschikbaar, maar de verwachting is dat de wijzigingen ten aanzien van de omgang met faalmechanismen zeer beperkt is. Om deze reden treffen we hiervoor geen voorziening.

Nieuwe meerpeilstatistiek

In het BOI2023 komt nieuwe meerpeilstatistiek beschikbaar. Deze is niet langer gebaseerd op extrapolatie vanuit metingen, zoals de meerpeilstatistiek in het WBI2017, maar op berekeningen met het model DEZY, waarin statistiek van rivierafvoeren is gecombineerd met de spui- en pompcapaciteit rond het IJsselmeer (o.a. in de Afsluitdijk). De nieuwe BOI-statistiek gaat uit van zichtjaar 2035, inclusief de ontwikkeling van extra spuisluizen en pompcapaciteit bij de Afsluitdijk. De resulterende statistiek ligt over het hele bereik op of onder de WBI2017 meerpeilstatistiek.

BOI2023-database met hydraulische belastingen

Voor BOI2023 zijn voor het IJsselmeer geen nieuwe productieberekeningen uitgevoerd met D-Hydro en SWAN. De set berekeningen uit WTI2011 vormt nog steeds de basis voor BOI2023, net als voor WBI2017. Alleen was in WBI2017 een correctie van +9% toegepast op alle waarden van de golfperiode $T_{m-1,0}$ in de database. In de BOI2023-database wordt deze correctie weer ongedaan gemaakt. Het werken met de WBI2017-database leidt daardoor tot een conservatief ontwerp.

Nieuwe klimaatscenario's KNMI

Het KNMI zal binnenkort de nieuwe klimaatscenario's presenteren. Tot op heden blijkt uit informele contacten dat de effecten voor de IJsselmeerdijk van Zuiderzeeland klein zijn. De belangrijkste reden hiervoor is dat zeespiegelstijging en hogere afvoeren slechts zeer beperkt invloed hebben op de belastingen. Het meerpeil heeft namelijk een kleine invloed op de hydraulische belastingen op de IJsselmeerdijk, omdat deze windgedomineerd zijn.

Onderzoek erosie overgangen

In de huidige ontwerp- en beheerpraktijk van primaire waterkeringen is de aanwezige erosiebestendigheid op het binnentalud van primaire waterkeringen tegen erosie door overslag vaak een onzekere factor (faalmechanisme Erosie Kruijn en binnentalud, GEKB). Uit meerdere onderzoeken is gebleken dat overgangen een kwetsbaar punt kunnen zijn in het dijkontwerp in relatie tot het faalmechanisme GEKB. Een overgang is een verschil in geometrie of ruwheid, bijvoorbeeld in de aansluiting van asfaltverharding naar grasbekleding (of andersom) of een knik in geometrie (bijvoorbeeld aansluiting binnentalud/binnenberm of binnentalud op de horizontale teen).

Uit de verkenningsfase van dijkversterking IJsselmeerdijken bleek dat de aanwezige overgangen op het binnentalud en binnenberm een significante invloed hebben op de ontwerpogave. Uit verschillende expertsessies en evaluaties kwam naar voren dat er twijfels zijn over de voorgestelde waarden (in vigerende richtlijnen) én anderzijds rees de vraag of het mogelijk is om deze overgangen doelmatig te versterken.

Parallel aan de planuitwerkingsfase van de IJsselmeerdijk werkt waterschap Zuiderzeeland voor het HWBP aan het innovatieproject “Verhogen erosiebestendigheid overgangen dijkbekleding”. Binnen dit innovatieproeject wordt onderzoek gedaan naar (vernieuwende) technieken om erosie bij overgangen van de onderlagen van dijken tegen te gaan. De proeven worden uitgevoerd op de IJsselmeerdijk. Aanvankelijk was de hoop/insteek dat de uitkomsten van deze proeven direct toegepast kunnen worden in de planuitwerkingsfase van het dijkversterkingsproeject, echter loopt de planning van deze proeven niet synchroon met de ontwerplooptijd van de planuitwerkingsfase. De eerste conceptresultaten van de proeven worden eind ontwerploop 2 verwacht. De hypothese is dat het toelaatbaar overslagdebiet omhoog kan (zelfs nog zonder de optimalisatie van het ontwerp van de overgangen), maar hier kunnen we op dit moment nog niet vanuit gaan. Voor OL2 gaan we daarom nog niet uit van een hoger toelaatbaar overslag debiet. Wel willen we in ontwerploop 2 samen met het waterschap in overleg of en hoe de resultaten van dit innovatie-onderzoek worden meegenomen in het dijkversterkingsproject IJsselmeerdijk.

3.3 Technisch ontwerp dam en vooroever

3.3.1 Technisch ontwerp vooroeverdam

3.3.1.1 Stabiele sortering bekleding

Recent uitgevoerde gootproeven van Deltares worden gebruikt om een stabiele steenstorting van de vooroeverdam te bepalen. In paragraaf 3.3.2.1 wordt beschreven hoe de proeven worden benut voor het ontwerp van de vooroever. In de huidige paragraaf ligt de focus op de vooroeverdam.

De vooroeverdam is beproefd bij een breed spectrum aan condities. Het betreffen frequenties tussen 1/100 per jaar tot 1/100.000 per jaar. Bij de frequentie van 1/100.000 per jaar zijn golfcondities voor breuksteen bekledingen bepaald met Hydra-NL voor diverse waterstandsniveaus, variërend van NAP+1,50 m tot NAP+2,50 m.

De eerste resultaten van de gootproeven zijn gunstig. Een sortering van 300-1000 kg is zeer stabiel, zelfs onder condities met een frequentie van 1/100.000 per jaar. Een lagere sortering van 60-300 kg is ook beproefd maar resulteerde in significante schade, waardoor de proeven vroegtijdig moesten worden afgebroken. Kansen in het ontwerp liggen in een tussensortering of een andere opbouw van de vooroeverdam met verschillende filterlagen (afhankelijk van de beschikbaarheid van materiaal). Deltares heeft in hun eindrapport verschillende adviezen hiervoor opgenomen. De resultaten van de golfproeven zijn uitgebreid beschouwd in. Hierin staan ook ontwerprichtlijnen uitgewerkt voor de sortering op basis van de proefresultaten [ref 50].

De conclusie van dit rapport is dat we voorlopig het beproefde ontwerp met een kleine aanpassing (een filterlaag van 10-60kg ipv een filterlaag van 40-200kg) ook in ontwerploop 2 kunnen overnemen als ontwerp van stabiele steenbestorting. Een eventuele (kleine) aanpassing in niveau van de kruin van de vooroever zal niet de gradering en de gekozen filterlagen wijzigen. Eventuele verdere optimalisaties zijn aan de aannemer aan wie het project gegund wordt. Derhalve zal in ontwerploop 2 geen verdere optimalisatie komen van het ontwerp van de vooroeverdam.

3.3.1.2 Stabiele taluds en kruinhoogte (ontwerpwijze)

Kruinhoogte:

Een advies voor de kruinhoogte volgt uit de gootproeven van Deltares. Een kruinhoogte van NAP + 0m en NAP + 1m zijn beide getest. Eerste resultaten toonden dat een hogere kruin leidt tot een hogere waterstand op de vooroever en daarmee gemiddeld een toename in golfoploop/overslag (in tegenstelling

theorie/verwachting waarbij een hogere vooroeverdam zou moeten leiden tot meer golfbreking). Bij het ontwerp van de kruinhoogte van de vooroeverdam moet dus gelet worden op de mogelijkheid voor afwatering via openingen of er kan worden gekeken naar een hogere doorlatendheid van de dam zelf. Dit kan bijdragen aan het verlagen van de waterstand op de vooroever zelf.

In ontwerploop 1 is op basis van de golfgootproeven een SWASH model gekalibreerd, wat kan helpen het “speelveld” tussen de kruin van de vooroeverdam en het voorland goed in kaart te brengen. Op basis van het SWASH model kan in ontwerploop 2 een definitieve keuze worden gemaakt voor het exacte niveau van de vooroeverdam en het niveau van het voorland. Indien er nog eventuele verdere onduidelijkheden zijn, dan kunnen we terugvallen op een gekalibreerd CoastalFOAM model. Indien er ook daarmee nog onzekerheden overblijven, zal worden geadviseerd om richting de voltooiing van ontwerploop 2 nog een keer golfproeven uit te voeren. Belangrijke input wordt opgehaald bij verschillende sporen; het minimaliseren van onderhoud, het maximaliseren van biodiversiteit, vergunningenspoor en het waterveiligheidsspoor.

Taludstabiliteit:

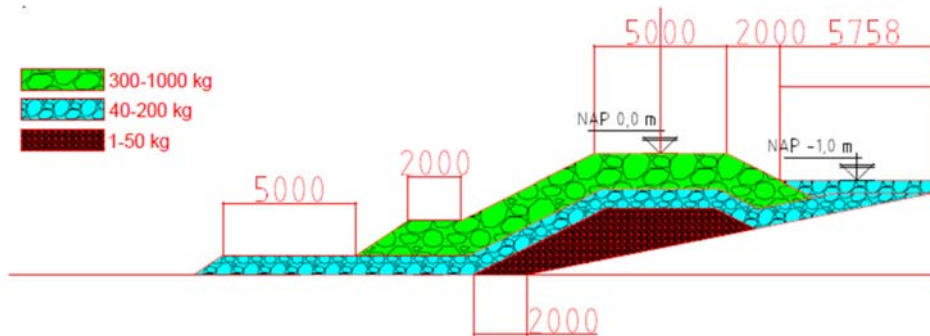
De taluds van de vooroeverdam dienen zowel in de eindsituatie als gedurende de uitvoering stabiel te zijn. De stabiliteit van de taluds wordt geanalyseerd met behulp van D-Stability analyses. Voor de eindstabiliteit zijn met name geometrie, fundering (al dan niet in een cunet) en materialisatie bepalend. Bij de uitvoeringsstabiliteit spelen daarnaast ook uitvoeringswijze en – snelheid een grote rol. Aan de hand van input vanuit de uitvoering (marktconsultatie, uitvoeringsspecialist) worden verschillende uitvoeringswijzen beoordeeld met als doel de bandbreedte voor de uitvoering vast te stellen. Op basis van zettingsanalyses (D-Settlement) in combinatie met stabiliteitsanalyses (D-Stability) worden de functionele eisen (restzetting, onderhoudsperiode en inspanning, etc.) bepaald.

3.3.1.3 Cunet/fundering

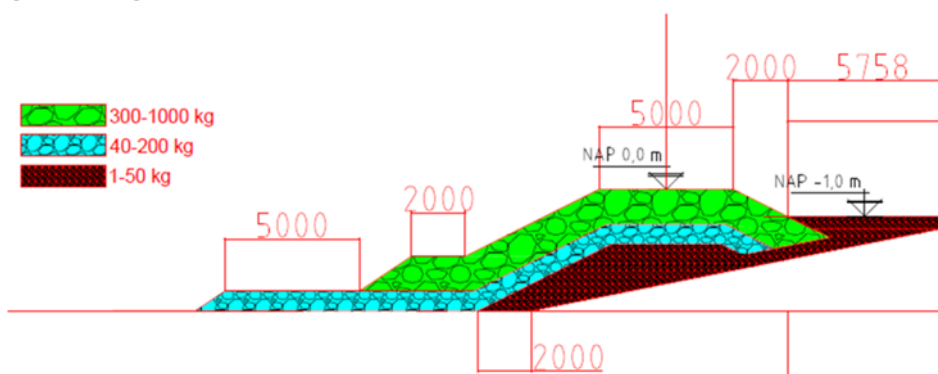
De vooroever kan zowel met als zonder cunet worden aangelegd. Aan beide varianten zijn voor- en nadelen verbonden, in zowel de uitvoering als de eindsituatie. Ook zijn nog aanvullende mitigerende maatregelen denkbaar, waarmee bepaalde specifieke nadelen kunnen worden opgelost. Op voorhand worden geen uitvoeringsmethoden uitgesloten. Alle (technische, ecologische en milieukundige) effecten van de uitvoeringswijze worden gekwantificeerd om de randvoorwaarden en functionele eisen te specificeren. In ontwerploop 1 zijn diverse varianten onderzocht (met en zonder cunet, maar ook met verticale drainage). De voorkeur gaat uit naar wel een cunet, maar deze wordt niet voorgeschreven aan de aannemer. In ontwerploop 2 worden logische eisen bedacht om

3.3.1.4 Kern

Ook de kern is is beproefd in de gootproeven. De kern is in principe van zand met een filterlaag of een steensortering van 1-50 kg met een tussenlaag van 40-200 kg. Optimalisaties in dit ontwerp kunnen worden gedaan d.m.v. het gekalibreerde CoastalFOAM model. Deltares heeft voorgesteld om gebruik te maken van een “meebewegende teenbescherming (falling apron)” mits de 1-50 kg stabiel is. De term zegt het al, de bescherming kan meebewegen met de teen bij teenerosie.



Figuur 3-3 basisvariant vooroeverdam



Figuur 3-4: optimalisatie vooroeverdam "falling apron" achterzijde

3.3.2 Technisch ontwerp vooroever

Deze paragraaf beschrijft de wijze waarop het technisch ontwerp van de vooroever wordt ingevuld.

3.3.2.1 Ontwerp vooroever i.r.t bestaande dijk

De primaire functie van de vooroever is het dempen van golven. Er zijn meerdere mogelijkheden om te kwantificeren hoe de vooroever en de dijk gezamenlijk aan de eisen voldoen. Het uitgangspunt is dat de vooroever zodanig wordt ingericht (hoogte, breedte (haaks op de dijk), vooroeverdam) dat de dijk op deze trajecten niet hoeft te worden verhoogd en dat de overgangshoogte van harde bekleding naar grasbekleding op hetzelfde niveau kan blijven liggen.

We volgen binnen de planuitwerking twee sporen:

- Fysieke golfgootproeven in de Scheldegoot van Deltares
- Opzet van een modellentrein met SWASH en GEBU/GEKB-tool

Fysieke golfgootproeven in de Scheldegoot van Deltares

De vooroever met dijk is beproefd in de Scheldegoot van Deltares. In de golfgoot is een schaalmodel gebouwd met daarin de IJsselmeerbodem, de vooroeverdam, de vooroever en het dijktalud. In de proeven is gevarieerd met de hoogte, breedte en gebruikte steensortering voor de vooroeverdam en met de hoogte en breedte van de vooroever. Eerst passen de opgelegde golven zich aan door golfbreking op de overgang van diep water naar de waterdiepte die hoort bij het IJsselmeer. Daarna bewegen golven al brekend over de vooroeverdam heen (aangeduid als golftransmissie). Vervolgens breken ze op de vooroever en bereiken ze de dijk. Daar veroorzaken ze golfoploop of golfoverslag. In de meeste proeven uit de proevenserie is golfoploop gemeten. Sommige proeven zijn ook uitgevoerd met een golfoverslagmeting, zodat de vergelijking tussen golfoploop en golfoverslag kan worden gemaakt.

Projectgerelateerd

De meest eenvoudige vorm van benutten van deze experimenten is het rechtstreeks aanleggen van een getest ontwerp. Daarbij is bekend wat de golfoploop is, en kan worden ingeschat hoeveel golfoverslag er optreedt bij een bepaalde kruinhoogte.

Het ontwerpproces in OL1 heeft echter geleid tot een hellende vooroever, een geometrie die niet is getest in de Scheldegoot. Daarnaast geldt dat het BOI voorschrijft dat er rekening gehouden moet worden met onzekerheden in de gebruikte modellen en modelparameters die de belasting en sterkte beschrijven. Bronnen van onzekerheid rond de golfgootproeven zijn bijvoorbeeld schaaleardeffecten in de golfgoot, de afwezigheid van wind en het verschil tussen de goot (2D-situatie) en het veld (3D-situatie). Daarom gebruiken we de golfgootproeven als validatiemateriaal voor een rekenmethodiek.

Een eenvoudige rekenmethodiek is het kalibreren van de EurOtop golfoverslagformules op basis van de golfgootproeven. De EurOtop formules bevatten zogenaamde invloedsfactoren, waarmee effecten van bijvoorbeeld schuine golfval, taludruwheid en de aanwezigheid van een berm kunnen worden verdisconteerd. Aan de set met invloedsfactoren is in OL1 een invloedsfactor toegevoegd die het effect van de vooroever en vooroeverdam beschrijft. Deze invloedsfactor is bepaald door de 2% golfploophoogte in een golfgootproef met een bepaalde vooroever te vergelijken met de meetwaarden in een golfgootproef zonder vooroever (de zogenaamde nultest). De invloedsfactor varieert als functie van de waterstand, golfhogte, geometrie van de vooroeverdam en geometrie van de vooroever. Door interpolatie tussen de proeven is ingeschat welke golfoploop optreedt bij een andere tussenliggende configuratie. Dit heeft snelle inzichten opgeleverd om tot een ontwerp op hoofdlijnen te komen in ontwerploop 1.

Voordelen van deze methode zijn:

- Nauwe aansluiting bij de golfgootproeven
- Snelle inzichten

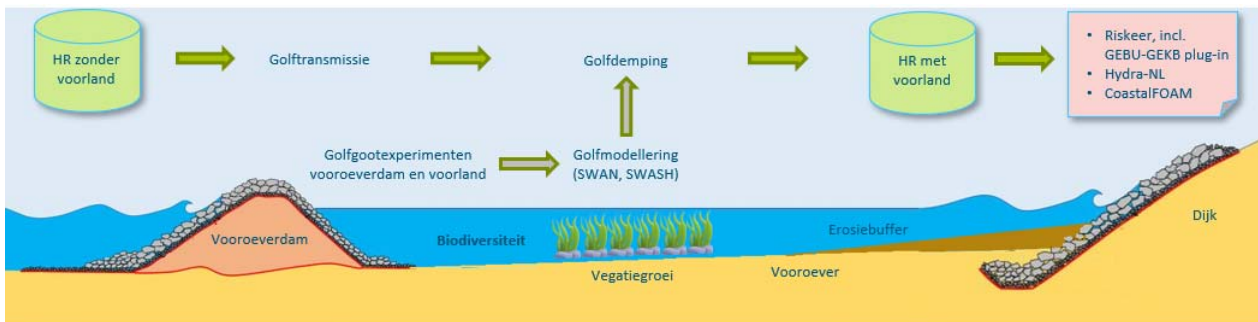
Nadelen van deze methode zijn:

- Onzekerheid als gevolg van schaaleardeffecten in onder andere golfoverslag
- 3D-effecten (schuine golfval en dergelijke) kunnen niet worden meegenomen
- Vormen die niet zijn getest in de golfgoot kunnen slechts worden benaderd
- Alleen proeven gebaseerd op enkele illustratiepunten uit Hydra-NL beschikbaar

De uiteindelijk in ontwerploop 1 gekozen configuratie bevat een hellende vooroever achter de vooroeverdam. Omdat deze configuratie niet getest is in de golfgootproeven, wordt de rekentechniek met invloedsfactoren in ontwerploop 2 niet langer toegepast.

Opzet van een modellentrein met SWASH en GEBU/GEKB-tool

In deze werkwijze wordt gebruik gemaakt van het golfmodel SWASH voor de modellering van golftransmissie over de vooroeverdam en golfdemping over de vooroever. Daaruit volgt een database met golfcondities bij de dijkteen, als vervanging van de database met golfcondities zonder de invloed van de vooroever. Deze database kan in de GEBU/GEKB-tool worden gebruikt om probabilistisch de overstromingskansen van de bestaande dijk te controleren, gegeven het aanwezige profiel.



Figuur 3-4: Overzicht modellering vooroever

De motivatie voor de keuze van SWASH is als volgt. SWASH berekent hoe het golvende wateroppervlak varieert in ruimte en tijd, waar golfenergiemodellen als SWAN en de voorlandmodule slechts berekenen hoeveel golfenergie zich bevindt in elke roostercel, en hoe deze is verdeeld over de verschillende frequenties en richtingen. Golfenergiemodellen geven een statistische beschrijving van de golven, gemiddeld over een flinke roostercel en gemiddeld in de tijd. Dergelijke modellen worden typisch toegepast op de ruimtelijke schaal van een groot aantal golflengtes. De vooroever voor de IJsselmeerdijk wordt naar verwachting ongeveer 50-100 meter breed, wat slechts 1 à 2 golflengtes is tijdens maatgevende omstandigheden. Golfenergiemodellen zijn niet bedoeld voor dergelijke kleine ruimtelijke schalen waarin van alles gebeurt. SWASH past daarentegen geen middeling in ruimte of tijd toe, maar berekent daadwerkelijk hoe het golvende wateroppervlak over de vooroeverdam en vooroever beweegt, en hoe de inkomende golven interacteren met de golven die tegen de dijk reflecteren.

In OL1 is SWASH eerst toegepast op labschaal in 2DV-modus (een dwarsraai over de vooroever heen) om een vergelijking te kunnen maken met de golfgootproeven uitgevoerd bij Deltares. Op basis van deze vergelijking is het SWASH-model gekalibreerd en gevalideerd. Vervolgens is de stap gemaakt naar werkelijke schaal (prototypeschaal).

Met het gevalideerde SWASH-model modelleren we de golftransformatie (verandering van golfhoogte, golfperiode en golfrichting) over de vooroever. Door variatie van de lengte, hoogte en helling van de vooroever is te onderzoeken hoe de gewenste golfreductie kan worden bewerkstelligd. Daarna vullen we een database door de golftransformatie over de vooroever te berekenen voor uiteenlopende combinaties van windsnelheid, windrichting en meerpeil. Per combinatie volgen lokale waterstanden en golfcondities aan de buitenzijde van de vooroeverdam uit de bestaande BOI-database. Deze worden opgelegd aan SWASH als randvoorwaarden. Vervolgens modelleren we de verandering van de golfhoogte en golfperiode over de vooroever en bepalen de golfcondities bij de dijkteen. In de nabewerking van de SWASH-berekeningen reconstrueren we de inkomende golfhoogte (ter onderscheid met de gereflecteerde golfhoogte) door terug te rekenen vanuit de met SWASH berekende 2% golfoploophoogte. Daarbij wordt een correctie toegepast om rekening te houden met het gemiddelde verschil tussen de met SWASH berekende 2% golfoploophoogte en de in de golfgootproeven gevonden 2% golfoploophoogte. De gereconstrueerde inkomende golfhoogte plaatsen we samen met de golfperiode en gemiddelde waterstand uit SWASH in een nieuwe database. In alle gevallen gaan we uit van loodrechte golfinval, omdat schuine golfinval niet kon worden meegenomen in de golfgootproeven of een 2DV SWASH-model.

De laatste stap is het uitvoeren van een probabilistische berekening met de GEBU/GEKB-module, waarbij de database met SWASH-resultaten als invoer wordt gebruikt. Op deze manier kan de benodigde kruinhoogte en overgangshoogte tussen harde bekleding en grasbekleding op de vooroever worden bepaald voor diverse vooroeverconfiguraties. Via deze methode wordt impliciet rekening gehouden met de mogelijkheid van falen bij verschillende mogelijke belastingcombinaties, zoals een relatief hoog meerpeil in combinatie met een minder extreme windsnelheid. Ook kunnen modelonzekerheden

gerelateerd aan SWASH, GEBU en GEKB een plek krijgen, net zoals dit voor de reguliere dijkversterking gebeurt.

Een belangrijk aandachtspunt bij deze werkwijze is de modelonzekerheid golven. Voor dijktrajecten zonder vooroever heeft deze betrekking op de prestaties van SWAN (golfgroei op het gehele IJsselmeer). Bij dijktrajecten met vooroever wordt echter de golfenergiedissipatie over de vooroever dominant. Deze berekenen we met SWASH, waardoor de modelonzekerheden golven in de GEBU/GEKB-berekeningen ook betrekking moeten hebben op SWASH, en niet langer alleen op SWAN. In ontwerploop 1 is aangetoond dat de gecombineerde modelonzekerheid golfhoogte voor SWAN (golven buiten de vooroeverdam) en SWASH (golfttransformatie over de vooroeverdam en vooroever en golfloop tegen de dijk) kan worden beschreven met een standaardafwijking van $\sigma=0,10$, wat (toevalligerwijs) gelijk is aan de standaardafwijking voor de golfhoogte die alleen gebaseerd is op SWAN-berekeningen. De modelonzekerheid in de golfperiode blijft ongewijzigd ten opzichte van de waarde die geldt voor SWAN, omdat de golfperiode slechts beperkt wordt beïnvloed door de vooroever.

Voordelen van deze methode zijn:

- Aansluiting bij de golfgootproeven via validatie en kalibratie
- Aansluiting bij de GEBU/GEKB-tool, het pad wat ingezet is in de verkenningfase
- Berekeningen voor de volledige kansruimte (windrichtingen, windsnelheden, waterstanden) mogelijk
- Aansluiting bij probabilistisch dijkontwerp door middel van berekeningen voor de volledige kansruimte (windrichtingen, windsnelheden, waterstanden)

Nadelen van deze methode zijn:

- Het vullen van databases met rekenresultaten van SWASH vraagt vrij veel rekentijd en menstijd
- Modelonzekerheden van SWASH dienen te worden gekwantificeerd (zoals hierboven beschreven)
- Mogelijk discussies over verschillen met het resultaat van de golfgootproeven

In ontwerploop 1 zijn we via deze aanpak tot de benodigde dimensies van de vooroever en vooroeverdam gekomen voor één maatgevende locatie. In ontwerploop 2 berekenen we een faalkans voor alle locaties langs het dijktraject om aan te tonen dat de dijk met vooroever overal aan de gestelde faalkanseis voldoet.

3.3.2.2 Golven en stroming boven de vooroever

Voor diverse functionele eisen is het van belang om inzicht te hebben in waterstanden, stromingspatronen en golven over en rond de vooroever. Denk daarbij aan:

- Zandtransporten door golven en stroming
- Bezinking van fijn slib
- Waterkwaliteit in relatie tot verblijftijd van het water op de vooroever
- Dynamiek door golven en stroming en daarmee geschiktheid voor diverse organismen als leefgebied
- Variaties in waterdiepte in het plas-drasgebied en daarmee geschiktheid als foerageergebied
- Vestiging van vegetatie

Stroming en golven berekenen we met een 2D D-Hydro model van het gehele IJsselmeer, waarin we de modules voor stroming (D-Flow FM) en golven (D-Wave) aan elkaar koppelen. We verfijnen de roosterresolutie rond de vooroever, zodat het mogelijk is om te variëren met de breedte, hoogte en profilering van de vooroever. Alsnog geldt dat de vooroever vrij smal is, en dat in een grootschalig model slechts enkele rekencellen in beslag neemt.

In ontwerploop 1 is onderzocht welke processen bepalend zijn voor stroming en golven. Daarbij werd onze verwachting bevestigd dat de wind dominant is, en dat de invloed van de inname en lozing van

koelwater door de Maximacentrale, stroming vanuit het Ketelmeer en stroming van en naar de Houtribsluizen verwaarloosd kunnen worden.

In ontwerploop 2 wordt het model nog gecheckt met de metingen uit de meetcampagne die nu wordt uitgevoerd door ZZL.

3.3.2.3 Morfologisch gedrag en onderhoudsbehoefte vooroever

Morfologisch gedrag betreft de vervorming van de vooroever onder invloed van golven en stroming. Voor morfologisch gedrag bestaan twee tijdschalen: korte-termijn erosie tijdens de extreme storm waar de dijk en vooroever voor zijn ontworpen, en lange-termijn erosie door de dagelijkse werking van golven en stroming. We bespreken hier eerst de lange-termijn erosie en daarna erosie op de tijdschaal van een individuele (extreme) storm.

Uitgangspunt is dat de toplaag bestaat uit zand (eventueel met een slibfractie). Zand is bewezen stabiel, bij toepassing van een lage taludhelling (flauwer dan 1:20) ook onder zware stormcondities. Natte klei of veen zijn veel minder stabiel. Dit materiaal kan mogelijk worden gebruikt als opvulmateriaal onder de stabiele zandlaag. We gaan dan na of de zandlaag dik genoeg is om het klei en veen af te dekken, ook nadat zandtransporten hebben plaatsgevonden.

Allereerst dus de lange-termijn erosie door de dagelijkse invloed van golven en stroming. Voor zandtransporten is een combinatie van golven en stroming nodig. Golven woelen het sediment op, en stroming verplaatsen het van a naar b. De eerste stap in het onderzoek is dat we nagaan of er sprake is van significante zandtransporten in de beschutte zone achter de vooroeverdam. Als dit het geval is, brengen we de onderhoudsbehoefte in beeld.

De onderhoudsbehoefte volgt uit gradiënten in de berekende sedimenttransporten op de vooroever. Sedimenttransporten berekenen we met een versie van de Van Rijn (2014) sedimenttransportformule, aangepast door Anne Ton in haar promotieonderzoek op de TU Delft op basis van metingen bij de Houtribdijk en Marker Wadden. De oorspronkelijke formule is voornamelijk geschikt voor stranden zoals langs de Noordzee. De aangepaste formule is specifiek geschikt voor ondiepe meren, waarin de rol van grootschalige stromingspatronen erg belangrijk is. De formule gebruikt golven en stroming als invoer. Deze volgen uit de berekeningen met het 2D D-Hydro model, beschreven in paragraaf **Error! Reference source not found.**

We berekenen sedimenttransporten voor diverse combinaties van windrichting en windsnelheid. Dit levert bruto transporten: transporten in een bepaalde richting langs de dijk bij een bepaalde wind. De transportrichting kan van dag tot dag wisselen. Op basis van het windklimaat schatten we in hoe vaak elke combinatie van windrichting en windsnelheid voorkomt, en dus hoe zwaar elke combinatie moet wegen om tot een jaargemiddeld netto transport te komen. Op basis van dit netto transport berekenen we hoe groot de onderhoudsbehoefte van de vooroever is. Ook geven we aan waar erosiebuffers dienen te worden aangelegd, en hoe groot deze moeten zijn.

Het tweede onderwerp is de erosie van de vooroever tijdens extreme stormcondities. Deze zijn intens, maar duren ook relatief kort. We berekenen de golven en stroming tijdens zware noordwesterstorm en maken een inschatting van de sedimenttransporten boven de vooroever in de langsricting van de dijk. Zo gaan we na of de erosie door langtransport tijdens deze kortdurende gebeurtenis substantieel is, of verwaarloosd kan worden.

Naast langtransport kan er ook dwarstransport optreden. Bij een flauwe taludhelling (minder dan 1:20) is dwarstransport (afslag) te verwaarlozen. In ontwerploop 2 geven we een nadere onderbouwing van dit statement met een berekening met het afslagmodel XBeach. Een aandachtspunt is erosie door golven die over de vooroeverdam slaan. Om die reden wordt hier een steenbestorting aangelegd. We besteden aandacht aan de stabiliteit van de steensortering onder extreme stormcondities op basis van de golfgootproeven in de Scheldegoot.

3.3.2.4 Watertemperatuur

De aanwezigheid van de Maximacentrale heeft invloed op de watertemperatuur voor de IJsselmeerdijk. Bij de centrale wordt koelwater ingenomen en opgewarmd weer geloosd. We passen 3D-modellering met een 3D D-Hydro-model voor het IJsselmeer toe. Met dit model berekenen we twee zaken:

- Invloed van de vooroever op de watertemperatuur bij het innamepunt van de Maximacentrale
- Invloed van de lozing van de Maximacentrale op de watertemperatuur boven de vooroever

Het eerste is van belang voor de bedrijfsvoering van de Maximacentrale, het tweede voor de waterkwaliteit en ecologie van de vooroever.

De invloed van de vooroever op de watertemperatuur bij het innamepunt van de Maximacentrale berekenen we door twee berekeningen met elkaar te vergelijken: een berekening met vooroever en een berekening zonder vooroever. Uitgangspunt in beide berekeningen is dat de lozing door de Maximacentrale actief is conform de vergunning die Engie heeft voor het lozen van koelwater (koelwaterdebiet, temperatuurverhoging, warmtevracht). We gaan na hoeveel invloed de vooroever heeft op de inname temperatuur, en hoe deze invloed afhangt van de afstand tussen de Maximacentrale en de aangelegde vooroever.

Voor de invloed van de lozing van de Maximacentrale op de watertemperatuur boven de vooroever gaan we niet uit van een lozing conform vergunning, maar van een realistische lozing. Uitgangspunt daarbij is dat we ons baseren op de gegevens over de lozing (debiet, temperatuurverhoging) in de afgelopen jaren. In de praktijk ligt de warmtevracht (in MW_{th}) namelijk duidelijk lager dan de warmtevracht waarvoor Engie een vergunning heeft. Dit komt voornamelijk doordat enkele oude units van de Maximacentrale niet meer operationeel zijn. Op dit deel van het terrein liggen momenteel zonnepanelen. We gaan na hoe warm het water boven de vooroever wordt tijdens een warme zomer, met een realistisch, maar enigszins conservatief gekozen koelwaterlozing door de Maximacentrale. Onze ecologen gaan na wat de impact is van de gemodelleerde watertemperatuur op de flora en fauna op de vooroever. Indien nodig optimaliseren we de vormgeving van de vooroeverdam en de openingen daarin om de invloed van het warme koelwater zoveel mogelijk te beperken.

Deze simulaties zijn uitgevoerd in ontwerploop 1. In ontwerploop 2 voeren we ter validatie nog een vergelijking uit tussen gemodelleerde stroming en watertemperatuur en metingen uit de meetcampagne die momenteel wordt uitgevoerd rondom de IJsselmeerdijk en Maximacentrale. Bij eventuele afwijkingen tussen model en metingen reflecteren we kwalitatief op de implicaties.

3.4 Technisch ontwerp dijk

Het doel van de dijkversterking van de IJsselmeerdijk is om te voldoen aan de minimaal vereiste waterveiligheidsnorm (ondergrens) voor zichtjaar 2080. Het technisch dijkontwerp moet resulteren in een faalkans voor de verschillende faalmechanismen die dusdanig klein is dat de gecombineerde kans voldoet aan deze eis (zie paragraaf 3.1).

De verschillende keuzes in het dijkontwerp zijn sterkteverhogend of belastingreducerend. In elk geval verlagen ze de faalkans van één of meerdere faalmechanismen. De uitgangspunten voor het technisch

dijkontwerp zijn in navolgende paragrafen gekoppeld aan de ontwerpkeuzes, ofwel ‘de knoppen waaraan kan worden gedraaid’.

De IJsselmeerdijk kent dijksegmenten met een dam en vooroever, met als primair doel om de hydraulische belastingen dusdanig te verlagen dat de ontwerpogave aan de dijk zelf vervalt. Voor de IJsselmeerdijk betekent dit twee verschillende aanpakken:

1. Dijk met vooroever

In het geval van een dijk met vooroever wordt de faalkans van de dijk beschouwd, gegeven een door dam en vooroever gereduceerde golfbelasting. Wanneer de faalkans van de dijk klein genoeg is (voldoet aan de ondergrens), levert de combinatie van dam, vooroever en bestaande dijk samen voldoende veiligheid. Er is dan geen ontwerpogave aan de dijk zelf meer. Wanneer blijkt dat de golfreductie van dam en vooroever (nog) onvoldoende is, zal de vooroever verlengd en/of verhoogd worden totdat de dijk een voldoende kleine faalkans heeft. In dit (mogelijk) iteratieve proces is vooralsnog geen aanpassing aan de dijk voorzien. Bij een dijk met vooroever is er dus feitelijk geen sprake van het ontwerp van de dijk, maar van de verificatie van de overstromingskans (‘beoordeling’).

2. Dijk zonder vooroever

Een dijk zonder vooroever moet dusdanig worden aangepast totdat deze voldoet aan de minimale overstromingskans in 2080. Versterken van de dijk kent diverse ontwerprijheden, zoals kruinhoogte (3.4.1), overgangshoogte harde bekleding naar gras op het buitentalud (3.4.2) en de hoogte van de buitenberm (3.4.5). Het effect op de overstromingskans van een dergelijke ontwerpkeuze wordt bepaald door een analyse voor één of meerdere faalmechanismen. Dit is een iteratief proces, omdat de meeste ontwerprijheden invloed hebben op meerder faalmechanismen.

Onderstaande figuur 3-5 **Error! Reference source not found.** toont een overzicht van de aanwezige ontwerprijheden, waarbij onderstaande tabel 3-3 **Error! Reference source not found.** weergeeft welk(e) faalmechanisme(n) aan de betreffende ontwerpkeuze/parameter gekoppeld zijn en welke paragraaf de uitgangspunten beschrijft.



Figuur 3-5: Schematisatie dijkprofiel met ontwerprijheden en kenmerken

Tabel 3-3: Ontwerpparameters IJsselmeerdijk

Ontwerpparameter	Omschrijving	Relevante faalmechanisme(n)	Paragraaf
------------------	--------------	-----------------------------	-----------

Kruinhoogte	Kruinhoogte is bepalend voor de mate van overslag, en daarmee kans op falen.	GEKB	3.4.1
Overgangshoogte harde-zachte bekleding	De overgangshoogte tussen harde bekleding (zetsteen/asfalt) en zacht (gras) heeft invloed op kans op erosie van het buitentalud agv golfklap/-oploop.	GEBU	3.4.2
Ondertaludhelling	De helling van het ondertalud heeft invloed op de mate van golfoploop.	GEBU, GEKB, STBU, ZST	3.4.2
Bermniveau	De berm werkt golfremmend. Effectiviteit is afhankelijk van hoogteligging (en breedte)	GEBU, GEKB, STBU	3.4.5
Kenmerken grasbekleding	Kenmerken grasbekleding zijn bepalend voor de sterkte en daarmee faalkans	GEBU, GEKB	3.4.1, 3.4.2
Binnenberm	Binnenberm heeft invloed op geotechnische stabiliteit	STBI, STMI, GABI	3.4.9, 3.4.3.2
Steenzetting	Steenzetting op ondertalud als bescherming tegen erosie van buitentalud.	ZST	3.4.7
Teenbestorting	Teenopsluiting ter voorkoming van afschuiven bovenliggend zetsteen en ondermijning.	ZST, GEBU, GEKB	3.4.6
Onderhoudspad	Asfalt onderhoudspad op berm (horizontaal gelegen)	AGK, AWO	3.4.8

3.4.1 Kruinhoogte

3.4.1.1 Effect kruinhoogte op overstromingskans

Het faalmechanisme 'grasbekleding erosie kruin en binnentalud' (GEKB) beschrijft het falen van de grasbekleding op de kruin of het binnentalud als gevolg van golfoverslag of overloop. Dit treedt op in geval van (extreem) verhoogde hydraulische belastingen. De weerstand tegen bezwijken, of het verlagen van de kans op optreden, wordt voor een groot deel bepaald door de kruinhoogte van de waterkering zelf. Hoe hoger de kruin, hoe kleiner de kans op bezwijken. Het falen van de grasbekleding op de kruin of het binnentalud is echter niet alleen afhankelijk van de hoogte van de kruin. De geometrie en ruwheid van het buitentalud bepalen mede hoeveel water uiteindelijk over de dijk slaat. Zoals benoemd in paragrafen 3.4 blijkt uit de verkenningsfase dat het bermniveau en de ondertaludhelling belangrijke ontwerpvariabelen zijn. Beiden hebben invloed op zowel de kruinhoogte als overgangshoogte van harde- naar zachte bekleding (zie paragraaf 3.4.2). Deze variabelen worden integraal beschouwd met de kruinhoogte als ontwerpparameter. Overige parameters, zijnde niet ontwerpparameters, zijn in paragraaf 3.4.1.3 beschreven.

Ook de aanwezigheid van een vooroever kan zorgen voor een remmende werking op de golven waardoor minder overslag optreedt. De ontwerpmethodiek is hieronder nader omschreven.

3.4.1.2 Ontwerpmethode

Het vaststellen van de benodigde kruinhoogte langs het dijkversterkingstraject kent een significant andere aanpak voor dijkstrekkingen waar een vooroeveroplossing is voor zien dan voor vakken zonder deze oplossing. Om deze reden zijn deze hieronder apart beschouwd.

Dijksegmenten met vooroeveroplossingen

De vooroeveroplossing heeft als belangrijk doel om de versterkingsopgave van de primaire kering te laten vervallen. Door de golfremmende werking van de vooroever wordt overslag verminderd, waarmee de faalkans als gevolg van GEKB wordt verkleind. In de verkenningsfase is aangetoond dat dit een haalbare werkwijze is [notitie VKB]. De uiteindelijke (benodigde) kenmerken van de vooroever worden onderzocht in de planuitwerking. In paragraaf 3.3.2 is de ontwerpwijze van de vooroever in meer detail toegelicht. Voor GEKB betekent dit echter dat, gegeven een vooroeverontwerp en bijbehorende golfreductie, een faalkansberekening met de GEBU-GEKB faalkanstool [44] moet aantonen dat de huidige dijkgeometrie volstaat. Wanneer blijkt dat de faalkans groter is dan de eis, wordt het vooroeverontwerp zodanig gewijzigd dat deze resulteert in meer golfreductie. Vervolgens kan met deze aangepaste belastingen opnieuw de faalkans bepaald worden. Dit (mogelijk) iteratieve proces betekent dat er geen ontwerprijheden zijn voor de waterkering. Zie paragraaf 3.3.2 voor de rekenmethode met dam en vooroever.

In ontwerploop 1 (OL1) zijn verschillende vooroeveroplossingen getoetst aan de huidige kruinhoogte. In ontwerploop 2 (OL2) zal voor het vooroever ontwerp de ruimtelijke inpassing en consequenties van de belastingen op het vooroever ontwerp verwerkt worden. Voor de berekeningen van de kruinhoogte wordt de meest recente GEBU-GEKB tool gebruikt. Hierin zijn geen noemenswaardige wijzigingen doorgevoerd voor het faalmechanisme gerelateerd aan kruinhoogte

Dijksegmenten zonder vooroeveroplossingen:

Voor de overige dijksegmenten wordt de minimaal benodigde kruinhoogte geoptimaliseerd. Hierbij wordt onder andere de ruwheid en geometrie van het (huidige) buitentalud gevarieerd net als de hoogteligging van de buitenberm. Deze analyse wordt ook met het probabilistisch sterktemodel uitgevoerd, de GEBU-GEKB faalkanstool [44]. Doordat het model de faalmechanismen van de grasbekleding op het buiten- en binnentalud combineert, is het mogelijk om de optimalisatie van de kruinhoogte te combineren met de bermhoogte en overgangshoogte waardoor een optimaal ontwerp van de geometrie en grasbekleding kan worden verkregen. Het is mogelijk dat de teenbestorting vanwege zijn ruwheid en golfremming ook invloed heeft op de benodigde kruinhoogteopgave. Daar is sprake van indien de teenbekleding in OL1 voor een significant gedeelte blijkt te liggen tussen -0.25 en +0.50 keer de gladde golfoploophoogte. Als dit het geval is, zal in OL2 op een conservatieve manier bekeken worden hoe deze ruwheid kan worden meegenomen in het faalmechanisme GEKB/GEBU. Vooralsnog zal de ruwheid van het buitentalud conservatief aangenomen worden op 0,9 [-].

In ontwerploop 1 (OL1) is het dijkprofiel met kruinhoogte bepaald voor de dijkvakken zonder vooroever. In ontwerploop 2 (OL2) zal de kruin definitief vastgelegd worden voor de reguliere dijk en maatwerkvakken. Voor de berekeningen van de kruinhoogte wordt de meest recente GEBU-GEKB tool gebruikt. Hierin zijn geen noemenswaardige wijzigingen doorgevoerd voor het faalmechanisme gerelateerd aan kruinhoogte

3.4.1.3 Schematisatie en sterkte-eigenschappen

De kenmerken van het golfoploopprofiel, graszodekwaliteit en de aanwezigheid van overgangen op de kruin en het binnentalud bepalen in belangrijke mate de faalkans van de grasbekleding op het binnentalud. Het probabilistisch sterktemodel voor GEKB werkt met de cumulatieve

Projectgerelateerd

overbelastingmethode waarbij elke overslaande golf tot schadeopbouw kan leiden. De sterkte van de graszode is hierin verwerkt door middel van een kritische stroomsnelheid (u_c) en een kritische schadegetal (D_{krit}). De kritische stroomsnelheid is afhankelijk van de zodekwaliteit, het kritische schadegetal geeft de mate van schade aan.

Daarnaast kunnen overgangen in de grasbekleding ook voor zwakke plekken zorgen. Het effect van overgangen op de sterkte wordt gemodelleerd door middel van alfa-factoren. De alfa-factoren α_M en α_s zijn bedoeld om de reductie in sterkte en verhoging van de belasting rondom de overgang te modelleren. Beide factoren zijn daarmee afhankelijk van het type overgang (hard-zacht, geometrisch). Met de alfa-factor α_a wordt het effect van de versnelling van het water langs het talud gemodelleerd en is daarmee afhankelijk van het talud.

In ontwerploop 1 wordt uitgegaan van een combinatie “Gesloten zode met overgangen” voor de bepaling van de benodigde kruinhoogte. De keuze voor een gesloten zode wordt ondersteund door een recent uitgevoerd onderzoek naar de grasmat. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de huidige grasmat van goede kwaliteit is en kan worden beschouwd als een grasmat met een gesloten zode. De alfa-factoren beschrijven vervolgens de situatie waarbij overgangen op de kruin en/of binnentalud aanwezig zijn. Dit is relevant voor de IJsselmeerdijk vanwege de aanwezigheid van onderhoudspaden of wegen op de binnenberm. De alfa-factoren zijn vastgesteld op basis van het rapport [49], waarin deze situatie is beschreven. De genoemde alfa-factoren zijn onafhankelijk van de locatie van de overgang. Een overgang nabij de kruin zal echter sneller tot een dijkdoorbraak leiden dan een overgang op de binnenberm zoals bij de IJsselmeerdijk. Dit is daarom een conservatief uitgangspunt.

De resulterende waarden voor deze parameters zijn opgenomen in Tabel 3-4 **Error! Reference source not found.**

Tabel 3-4: Sterkte-eigenschappen grasbekleding belast door golfoverslag voor verschillende graszodekwaliteiten

Parameter	Waarde
Kritische stroomsnelheid (u_c) [m/s]	Deterministisch: 6,6 Probabilistisch: $N(8,0; 1,0)$
Kritisch schadegetal (D_{krit}) [m^2/s^2]	Deterministisch: 7.000 Probabilistisch: $N(7.000; 700)$
Versnellingsfactor (α_a) [-]	1,4
Factor toename hydraulische belasting rondom overgangen (α_M) [-]	1,8
Factor afname sterkte grasbekleding rondom overgangen (α_s) [-]	0,9

Naast de sterkte-eigenschappen heeft ook de schematisatie van het oloopprofiel een significante bijdrage aan de faalkans en dus ontwerpogave. Onderstaande tabel toont de schematisatieparameters, gehanteerde waarden en een onderbouwing.

Tabel 3-5: Schematisatie golfloopprofiel

Parameter	Waarde	Omschrijving
Hoogte dijkteen	Locatieafhankelijk	Lokale dijkteenhoogte. Geen invloed op faalkans.
Ondertaludhelling	1 op 3,5, 1 op 4 en 1 op 5	Varianten onderzocht (zie par Error! Reference source not found.)
Bermbreedte	Huidige berm (locatieafhankelijk)	Vanwege ruimtebeslag wordt geen bermverbreding voorzien
Bermhoogte	Variabel	Varianten onderzocht (zie paragraaf Error! Reference source not found.)
Boventaludhelling	1 op 3	Huidige taludhelling.
Ruwheid algemeen	1,0	Ruwheid overeenkomstig grasbekleding
Ruwheid afwijkend	0,9	Ruwheid overeenkomstig diverse steenzettingen.
Hoogteligging afwijkende ruwheid	Teenhoogte tot overgangshoogte	Enkel ter plaatse van steenzettingen.

3.4.2 Overgangshoogte hard-zacht buitentalud (grasbekleding erosie buitentalud, GEBU)

3.4.2.1 Effect overgangshoogte op overstromingskans

Het faalmechanisme ‘grasbekleding erosie buitentalud’ (GEBU) beschrijft het falen van de grasbekleding op het buitentalud als gevolg van golfloop of golfklap. Dit mechanisme kan optreden in het geval van (extreem) verhoogde hydraulische belastingen. De weerstand tegen bezwijken, of het verlagen van de kans op optreden, wordt voor een groot deel bepaald door de overgangshoogte tussen de harde bekleding (steenzetting, asfalt) en de grasbekleding. Hoe hoger de grasbekleding op het buitentalud ligt, hoe kleiner de kans op bezwijken.

Voor golfklap is van belang dat de waterstand op de grasbekleding moet staan voordat deze belast kan worden door golfklap. Vanwege de vrij hoge golfbelastingen vanaf het IJsselmeer faalt de grasbekleding vrijwel direct indien deze belast wordt door golfklap. Daarom is voor GEBU-golfklap met name de ligging van de overgangshoogte bepalend.

Voor golfloop is, naast de hoogteligging van de onderkant van de grasbekleding, ook de geometrie en ruwheid van het buitentalud bepalend voor de belasting. Zoals benoemd in paragraaf 3.4.1 blijkt uit de verkenningsfase dat het bermniveau en de ondertaludhelling belangrijke ontwerpvariabelen zijn. Beiden hebben invloed op zowel de kruinhoogte als overgangshoogte van harde- naar zachte bekleding. Deze variabelen worden integraal beschouwd met de kruinhoogte als ontwerpparameter.

Als laatste kan ook de aanwezigheid van een vooroever zorgen voor een remmende werking op de golven en waardoor de grasbekleding op het buitentalud minder zwaar belast wordt. De ontwerpmethodologie is hieronder nader omschreven.

3.4.2.2 Ontwerpmethode

Het vaststellen van de benodigde overgangshoogte langs het dijkversterkingstraject kent een significant andere aanpak voor dijkstrekingen waar een vooroeveroplossing is voor zien dan voor vakken zonder deze oplossing. Om deze reden zijn deze hieronder apart beschouwd.

Dijksegmenten met vooroeveroplossingen:

De vooroeveroplossing heeft als belangrijk doel om de versterkingsopgave van de primaire kering te laten vervallen. Door de golfremmende werking van de vooroever wordt de golfbelasting verminderd, waarmee de faalkans als gevolg van GEBU wordt verkleind. In de verkenningsfase is aangetoond dat dit een haalbare werkwijze is [notitie VKB]. De uiteindelijke (benodigde) kenmerken van de vooroever worden onderzocht in de planuitwerking. Voor GEBU betekent dit echter dat, gegeven een vooroeverontwerp en bijbehorende golfreductie, een faalkansberekening wordt uitgevoerd gegeven de huidige dijkgeometrie met de GEBU-GEKB faalkanstoel. Wanneer blijkt dat de faalkans groter is dan de eis, wordt het vooroeverontwerp zodanig gewijzigd dat deze resulteert in meer golfreductie. Vervolgens kan met deze aangepaste belastingen opnieuw de faalkans bepaald worden. Dit (mogelijk) iteratieve proces betekent dat er geen ontwerpvarianten zijn voor de waterkering.

Dijksegmenten zonder vooroeveroplossingen:

Voor de overige dijksegmenten wordt de overgangshoogte geoptimaliseerd. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de ruwheid en geometrie van het (huidige) buitentalud en de ligging van de buitenberm (zie ook paragraaf **Error! Reference source not found.**). Deze analyse wordt ook met het probabilistisch sterktemodel uitgevoerd. Voor ontwerploop 1 wordt het falen als gevolg van GEBU-golfoploop buiten beschouwing gelaten. Dit omdat nieuw onderzoek aantoont dat de grasbekleding in de golfoploopzone significant veel meer sterkte heeft dan tot nu toe in het model beschreven. Ervaring uit andere studies tonen aan dat dit vaak resulteert in dusdanig kleine faalkansen dat GEBU-golfklap maatgevend wordt. Als gevolg van het gehanteerde uitgangspunt kan het zijn dat de ontwerpovergangshoogte onderschat wordt. In ontwerploop 2 zal hier een controle op worden uitgevoerd met de update van het probabilistisch sterktemodel waarin deze extra sterkte wel zal zijn opgenomen. Daarnaast is het mogelijk dat de teenbestorting vanwege zijn ruwheid en golfremming ook invloed heeft op de benodigde kruinhoogteopgave. Daar is sprake van indien de teenbekleding in OL1 voor een significant gedeelte blijkt te liggen tussen -0.25 en +0.50 keer de gladde golfoploophoogte. Als dit het geval is, zal in OL2 op een conservatieve manier bekeken worden hoe deze ruwheid kan worden meegenomen in het faalmechanisme GEKB/GEBU. Vooralsnog zal de ruwheid van het buitentalud conservatief aangenomen worden op 0,9 [-].

Doordat het model de faalmechanismen van de grasbekleding op het buiten- en binnentalud combineert, is het mogelijk om de optimalisatie van de overgangshoogte te combineren met de bermhoogte en kruinhoogte waardoor een optimaal ontwerp van de geometrie en grasbekleding kan worden verkregen.

Omgang met GEBU-golfoploop in ontwerploop 1 en ontwerploop 2:

GEBU-golfoploop beschrijft het falen van de grasbekleding als gevolg van golfoploop. Dit faalmechanisme treedt op wanneer de waterstand lager is dan de overgangshoogte van hard naar zacht. Deltagootproeven hebben aangetoond dat een grasbekleding in de golfoploopzone sterker is dan tot nu toe aangenomen. Voor GEBU-golfoploop werd tot nu toe gerekend met de cumulatieve overbelastingmethode. In ontwerploop 1 is deze faalkans niet beschouwd omdat de faaldefinitie zeer conservatief is (falen graszode gelijk aan falen waterkering). In ontwerploop 2 zal het faalmechanisme GEBU-golfoploop beschouwd worden met de meest recente GEBU-GEKB tool waarin ook reststerkte is opgenomen uit eerder genoemde Deltagootproeven. Uit eerste verkennende berekeningen is echter gebleken dat de nieuwe versie van de rekentool zeer veel iteraties nodig heeft voor convergentie en – in sommige gevallen – nog

steeds hogere faalkansen uitrekent dan vooraf verwacht. Om deze reden wordt onderstaande stappenplan voorgesteld voor ontwerploop 2:

- 1) Allereerst worden ontwerpberekeningen uitgevoerd voor het ontwerp zoals voorgesteld in OL1. Effectief betekent dit dat we het dijkontwerp toetsen aan het nieuwe model – met GEBU-golfloop - waarbij ook reststerkte in beschouwing wordt genomen. Wanneer blijkt dat het ontwerp uit OL1 voldoet aan de overstromingskans-eis en de resultaten zijn realistisch, is het doel voor ontwerploop 2 (OL2) behaald.
- 2) Wanneer blijkt dat de faalkans onverklaarbaar groot of klein is, zal met de probabilistische GEBU-golfloop tool van de noordelijke waterschappen referentieberekeningen worden uitgevoerd. Deze resultaten kunnen vergeleken worden met resultaten uit stap 1 om een beeld te vormen van de verklaarbare en uitlegbare overstromingskans als gevolg van GEBU-golfloop.
- 3) Als laatste stap wordt met de resultaten van beide modellen de beste overstromingskans als gevolg van GEBU-golfloop en andere faalmechanismen gerelateerd aan grasbekleding bepaald en gecombineerd. Hiermee wordt het ontwerp getoetst en eventueel verbeterd.

3.4.2.3 Schematisatie en sterkte-eigenschappen

De graszodekwaliteit bepaalt in belangrijke mate de sterkte-eigenschappen van de grasbekleding op het buitentalud. Zowel voor GEBU-golfklap als GEBU-golfloop worden verschillende modellen gebruikt, en is de sterkte van de graszodekwaliteit anders gedefinieerd. Voor GEBU-golfklap wordt de sterkte van de grasbekleding en onderlaag bepaald door middel van tijdstandlijnen. Voor de verschillende graszodekwaliteiten zijn waarden voor de sterkteparameters opgenomen in tabel 3-6 **Error! Reference source not found.**

Tabel 3-6: Sterkte-eigenschappen grasbekleding belast door golfklappen voor verschillende graszodekwaliteiten

Parameter	Open zode	Gesloten zode
Standlijncoëfficiënt a [-]	Deterministisch: 0,8 Probabilistisch: $LN(1,40; 0,62)$	Deterministisch: 1,0 Probabilistisch: $LN(1,82; 0,50)$
Standlijncoëfficiënt b [-]	-0,070	-0,035
Standlijncoëfficiënt c [-]	0,25	0,25

De de waarden voor de sterkteparameters zijn opgenomen in tabel 3-7 **Error! Reference source not found.** Daarnaast zal in ontwerploop 2 ook sterkte van onderlagen in beschouwing worden genomen. Voorafgaand aan ontwerploop 2 zal dit document bijgewerkt worden met de relevante sterkte-parameters voor deze analyse.

Het golfloopprofiel is hetzelfde als voor toegepast voor het ontwerp van de kruinhoogte en beschreven in paragraaf 3.4.1 **Error! Reference source not found.**

Tabel 3-7: Sterkte-eigenschappen grasbekleding belast door golfloop voor verschillende graszodekwaliteiten

Parameter	Open zode	Gesloten zode
Kritische stroomsnelheid (u_c) [m/s]	Deterministisch: 4,3	Deterministisch: 6,6
Kritisch schadegetal (D_{krit}) [m ² /s ²]	Deterministisch: 7.000	

Projectgerelateerd

Factor toename hydraulische belasting rondom overgangen (α_M) [-]	1,0
Factor afname sterkte grasbekleding rondom overgangen (α_s) [-]	1,0

Voor de berekeningen met reststerkte is voor zowel GEBU-golfklap als GEBU-golfoploop dient ook de kleilaag onder de grasbekleding geschematiseerd te worden. Tabel @ toont deze parameters inclusief de toegepaste waarden voor ontwerploop 2.

Tabel 3-8: Sterkte-eigenschappen erosie onderlagen buitentalud

Parameter	Open zode
Kruinbreedte [m]	Deterministisch: 4,0
Binnentaludhelling [$\tan \alpha$]	Deterministisch: 1/3
Dikte van de kleilaag (d_{klei}) [m]	1,5
Faalfractie kleilaag na falen graszode ($d_{1,2}$) [m]	0,3
Modelonzekerheid fase 1 [-]	Probabilistisch: $\mu = 0,8$ $\sigma = 0,4$
Modelonzekerheid fase 2 [-]	Probabilistisch: $\mu = 1,0$ $\sigma = 0,42$

3.4.3 Overige faalmechanismen gerelateerd aan grasbekleding

3.4.3.1 Afschuiven grasbekleding buitentalud.

Het faalmechanisme 'afschuiven grasbekleding buitentalud' (GABU) is het opdrukken en afschuiven van de grasbekleding tijdens terugtrekking van de golf. Het faalmechanisme kan dus alleen optreden wanneer de grasbekleding belast wordt door golfklappen. In de verkenning is vastgesteld dat de grasbekleding onvoldoende weerstand biedt tegen erosie bij golfklap (GEBU). Als gevolg hiervan staat op voorhand vast dat de grasbekleding buiten de golfklapzone komt te liggen waardoor het faalmechanisme grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) niet kan optreden.

3.4.3.2 STMI/GABI

Het definitieve dijkontwerp dient gecontroleerd te worden op microstabiliteit (STMI) en/of gras afschuiven binnentalud (GABI). Zie paragraaf 3.4.9.12 voor de uitgangspunten voor STMI/GABI.

3.4.4 Ondertaludhelling

In de verkenningsfase is aangetoond dat de ondertaludhelling significante invloed kan hebben op de faalkans voor GEBU en GEKB. Dit is een gevolg van de mate van golfoploop/golfremming als gevolg van

flauwe of steile hellingen. Een nadere analyse wees uit dat dit effect voor een groot deel verklaard kan worden door de zeer grote maatgevende golfcondities uit het illustratiepunt van de sterkteberekeningen. Tevens heeft de keuze voor het ondertalud invloed op de steenzetting die toegepast dient te worden (zie verder 3.4.7).

De verwachting is dat voor dijksegmenten met vooroever de ondertaludhelling een verwaarloosbare bijdrage heeft op de faalkans van GEBU en GEKB. Dit wordt getoetst middels één gevoeligheidsberekening. Voor dijksegmenten zonder vooroever zal gevarieerd worden met een talud van 1:3 t/m 1:4.

3.4.5 Buitenberm

De geometrie van de buitenberm heeft invloed op de mate van golfoploop op het buitentalud. De kenmerken van de berm zijn daarnaast van invloed de stabiliteit van het buitentalud (STBU, zie paragraaf 3.4.9).

De golfoploop heeft een significante bijdrage aan de faalkans voor GEBU en GEKB. Om deze reden wordt voor het ontwerp gekozen om de hoogte van de buitenberm vast te leggen op NAP + 2,2 m oplopend tot NAP + 2,35 m ten aanzien van deze twee mechanismen. Voor het dijksegment met vooroever is geen aanpassing van de buitenberm voorzien.

De bermbreedte zal niet wijzigen ten opzichte van de huidige berm, zodat er qua ruimtebeslag van de waterkering geen wijziging optreedt. Een verbreding van de berm zal namelijk leiden tot verbreding van het dijkprofiel. Dit is zeer onwenselijk vanwege de aanwezigheid van Natura2000-gebied en mogelijk benodigde ontgravingen in het voorland ten behoeve van een stabiele ondergrond.

3.4.6 Teenbescherming

De teenbescherming dient ter ondersteuning van het zetstenen ondertalud en ondersteunt de gehele dijk. Deze ondersteuning dient echter vooral ook voldoende stabiel en stijf zijn. Zodra de teen instabiel wordt of niet stijf genoeg is, kan deze het zetstenen ondertalud niet meer ondersteunen, waardoor deze kan afschuiven. Voordat dit gebeurt, kan de zetsteen al gaan “kammen”: doordat de teenbescherming niet voldoende stijfheid heeft, kan de steenzetting gaan schuiven naar beneden. De individuele stenen kunnen dan gaan “kammen”: ze kantelen dan en de inwassing kan uitspoelen, zie onderstaande figuren.



Figuur 3-6: Voorbeeld van gekamde bekleding

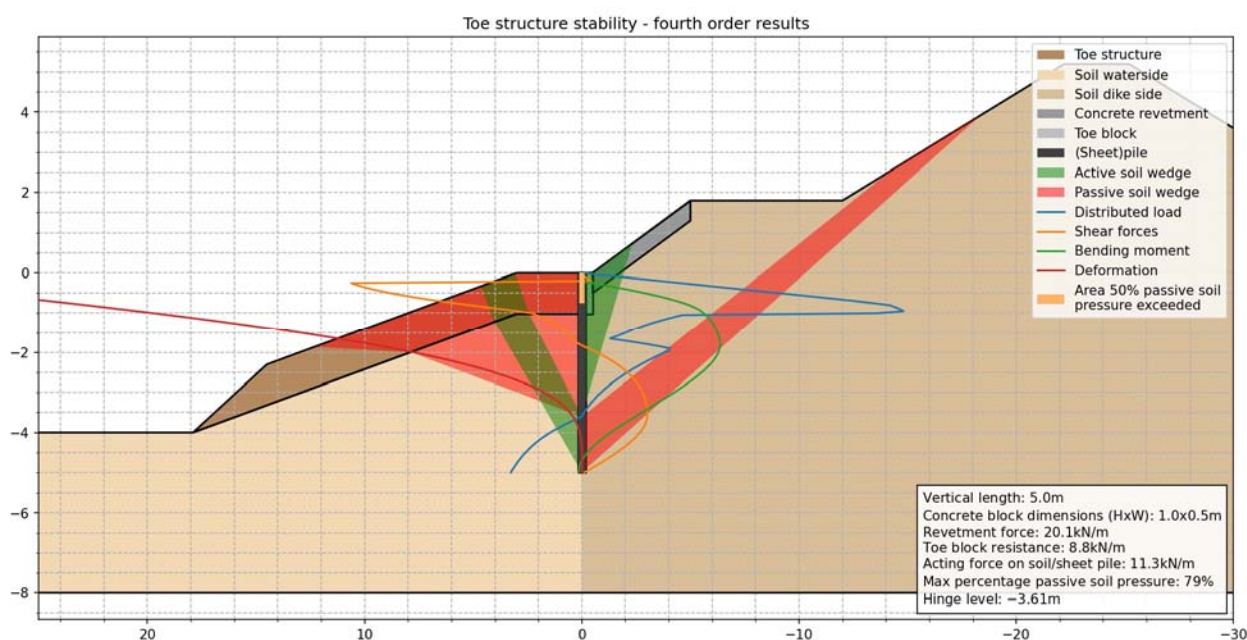


Figuur 3-7: Inwassing van een gekamde bekleding (links) en hoe de inwassing hoort te zijn (rechts)

Dit faalmechanisme valt onder het faalmechanisme ZST, subfaalmechanisme afschuiving: ZAF. Er zijn twee manieren waarop de teenbescherming kan falen: algehele stabiliteit en erosie van de bekleding. Voor beiden gelden andere ontwerpregels:

Erosie van de teen: de bekleding van de teen kan eroderen onder de golfbelasting. De teen wordt ontworpen conform de Handreiking Dijkbekledingen deel 4: Breuksteenbekledingen (Deltares, 2015) en wordt aangescherpt met eventuele andere bronnen zoals Rock Manual 2007 en/of recentere literatuurbronnen. Na het uitvoeren van de golfproeven bij Deltares, is een nieuwe relatie gelegd tussen de verwachte schadegetallen voor een breukstenen talud onder water. Deze wordt ook voor het teenontwerp gebruikt. Tijdens OL1 zijn tevens de eisen voor de schadegetallen afgeleid, die in OL2 zullen worden bevestigd.

Stabiliteit van de teen: de algehele stabiliteit dient voldoende te zijn (ook na eventueel toelaatbare erosie van de teenbekleding). De stabiliteit of afschuiving kan worden gecontroleerd door het evenwicht van een moot van de bekleding te berekenen. Deze wordt in eerste instantie gedaan met de door RHDHV-ontwikkelde “teenconstructietool”, en is in OL1 voor een ontwerp met een damwand geverifieerd met de M-Sheet. In OL2 zal voor verdere verificatie zonder damwand een PLAXIS-berekeningen worden uitgevoerd, zodat de stabiliteit kan worden bepaald in combinatie met het lopende onderzoek bij Deltares “onderzoek stabiliteit teenconstructie IJsselmeerdijk”. De teenconstructie dient aangetoond voldoende stabiel te zijn (beperkte mobilisatie van het passieve grondlichaam, exact criterium nader te bepalen op basis van het lopende onderzoek).



Figuur 3-7: Screenshot van de teenconstructietool

Tevens is het mogelijk dat de teenbescherming golven zal remmen en dat deze invloed heeft op de faalmechanismen GEKB en GEBU.

3.4.7 Steenzetting buitentalud

De steenzetting op het buitentalud kan falen als gevolg van verschillende faalmechanismen, zoals instabiliteit toplaag, erosie onderlagen, afschuiven, etc. Deze faalmechanismen zijn samengebracht in het bovenliggende mechanisme wat de algehele stabiliteit van de steenzetting beschrijft (Stabiliteit Steenzetting, ZST).

De IJsselmeerdijk beschikt van teen tot de hoogte van de buitenberm en van buitenberm tot op het boventalud over een zetstenen bekleding. Deze voldoet niet aan de norm. Voor dijksegmenten met vooroverplossing is de golfbelasting dusdanig verlaagd dat de steenzetting niet vervangen hoeft te worden.

Voor dijksegmenten zonder vooroverplossing zijn de minimaal benodigde zuilhoogte en de overgangshoogte (zie paragraaf 3.4.2) bepaald in OL1. In de eerste ontwerploop is de benodigde zetsteenhoogte bepaald voor 4 typen zetsteen, uit deze beschouwing bleek dat de zetsteenhoogte orde grootte 0,35 - 0,50 meter is. De materialisatiekeuze ligt bij de aannemer.

Voor dijksegmenten met vooroverplossing wordt de golfhoogte dusdanig beperkt dat de steenzetting zoals aanwezig op de dijk voldoet. De maximale golfhoogte voor een terugkeerperiode van 10.000 jaar is 1.68 meter op basis van de berekende golfreducties uit OL1. De huidige steenzetting voldoet voor golfhoogten tot 2.00 meter als beschreven in de Notitie Voorkeursbeslissing [51] en is dus voldoende sterk. In OL2 wordt een extra check uitgevoerd in Steentoets om dit bevestigen.

3.4.7.1 Ontwerpproces keuze type bekleding

Het toetsen en ontwerpen van de steenzetting wordt semi-probabilistisch uitgevoerd volgens de methode beschreven in OI2014v4 en de Schematiseringshandleiding Steenzetting. In deze methode worden representatieve sterkteparameters getoetst aan hydraulische belastingen met een kans van voorkomen

gelijk aan de doorsnede-eis van de ondergrens bij einde levensduur. Hieronder is het proces in meer detail beschreven:

1) *Bepalen hydraulische condities*

Als eerste worden in Hydra-NL de maatgevende condities afgeleid bij een terugkeertijd getalsmatig gelijk aan de doorsnede-eis bij ondergrens. Hiervoor wordt de database gebruikt zoals beschreven in paragraaf **Error! Reference source not found.** De relevante hydraulische condities betreffen de waterstanden en golfcondities. De golfcondities worden per waterstandsniveau (stapgrootte 0,5m) afgeleid door middel van de zogenoemde 'Q-variant'. Deze informatie dient als input voor de uiteindelijke sterkteberekening.

2) *Vaststellen of ontwerp van sterkteparameters en invoer in Steentoets (v22.2.1)*

In het softwareprogramma Steentoets (v22.2.1) worden vervolgens alle relevante sterkteparameters ingevoerd. Hiervoor worden in de basis de gegevens behorende bij de huidige dijkopbouw overgenomen. Dit geldt voor zowel de dijksegmenten met als zonder vooroever.

3) *Analyses op sterkte*

Als laatste wordt, in Steentoets, een controle uitgevoerd van de bestaande steenzetting en indien nodig wordt gezocht naar een benodigde zetsteenhoogte.

3.4.8 Onderhoudspad

Ter plaatse van de buitenberm zal een onderhoudspad van asfalt aangelegd worden. Omdat het asfalt horizontaal gelegen is, is de kans op falen als gevolg van golfklap (AGK) verwaarloosbaar klein. Golfklap kan in praktijk bij deze hellingen niet optreden, omdat hiervoor een significante helling aanwezig dient te zijn. Bij horizontale taluddelen zal een 'spilling' golf optreden volgens de Irribarren terminologie. Om een robuust ontwerp te garanderen wordt de benodigde asfaltdikte voor AGK bepaald voor het flauwst mogelijke talud binnen deze rekenmethode, zijnde 1:9 (v:h). Aangezien dit steiler is dan de uiteindelijk aan te leggen berm, zal de hieruit volgende asfaltdikte dikker zijn dan nodig voor een horizontaal gelegen berm (tgv. AGK).

De asfaltbekleding op de buitenberm doet tevens dienst als onderhoudspad, om deze reden is het van belang de gebruiksfunctie mee te nemen in de bepaling van de dikte van de asfaltlaag. Indien de benodigde laagdikte tbv. de gebruiksfunctie verschilt van de gevraagde dikte tbv. faalmechanisme AGK, is de grootst benodigde laagdikte leidend voor het ontwerp.

De buitenbermhoogte (zie paragraaf 3.4.5) is maatgevend voor de hoogteligging van het onderhoudspad. Gedurende OL2 wordt voor de maatwerkvakken houtribhoekstrand en baaidijk zuid nog getoetst of deze hoogteligging in combinatie met de benodigde laagdikte en belastingsituaties geen falen tgv. verweking veroorzaakt. Dit zal getoetst worden aan de huidige vigerende ontwerpmethoden beschreven in OI2014v4.

3.4.9 Geotechnische stabiliteit dijk

3.4.9.1 Faalkanseis en veiligheidsfactoren

De faalkanseis voor STBI is bepaald conform Bijlage III op de Toelichting bij de Ministeriële Regeling Veiligheid primaire waterkeringen 2017 [20]. De faalkanseis voor STBI is opgenomen in tabel 3-8 **Error! Reference source not found.** De veiligheidsfactoren zijn opgenomen in tabel 3-9 **Error! Reference source not found.**

Tabel 3-9: Faalkanseis voor STBI

Faalmechanisme	Norm	Lengte	Faalkanseis op doorsnedeniveau
----------------	------	--------	--------------------------------

Projectgerelateerd

	[per jaar]	[km]	[per jaar]
STBI	1/10.000 (max. toelaatbare kans)	22,8	$2,5 \cdot 10^{-7}$

Tabel 3-10: Veiligheidsfactoren voor STBI

Norm [per jaar]	Schadefactor [-]	schematiseringsfactor [-]	Modelfactor Uplift-Van [-]	Vereiste SF D-GeoStability [-]
Max. toelaatbare kans (1/10.000)	1,16	1,00	1,06	1,23

De faalkanseis voor STBU is bepaald conform Bijlage III op de Toelichting bij de Ministeriële Regeling Veiligheid primaire waterkeringen 2017 [20]. De faalkanseis voor STBU is opgenomen in tabel 3-10. **Error! Reference source not found..** De veiligheidsfactoren zijn opgenomen in **Error! Reference source not found.** tabel 3-11.

Tabel 3-11: Faalkanseis voor STBU

Faalmechanisme	Norm [per jaar]	Lengte [km]	Faalkanseis op doorsnedeniveau [per jaar]
STBU	1/10.000 (max. toelaatbare kans)	22,8	$2,5 \cdot 10^{-6}$

Tabel 3-12: Veiligheidsfactoren voor STBU

Norm [per jaar]	Schadefactor [-]	schematiseringsfactor [-]	Modelfactor Bishop [-]	Vereiste SF D-GeoStability [-]
Max. toelaatbare kans (1/10.000)	1,09	1,00	1,11	1,21

De minimaal benodigde stabiliteitsfactor in D-Stability, versie 20.1 (Deltares, 2019) is 1,21 voor STBU en 23 voor STBI. Hierbij is uitgegaan van het grondmodel Critical State Soil Mechanics (CSSM), waarbij de materiaalfactoren gelijk aan 1,0 worden aangehouden. Voor STBU wordt gebruikt gemaakt van het glijvlakmodel van Bishop, voor STBI wordt gerekend met Uplift Van. Omdat in de PU fase wordt gerekend met SOS scenario's en scenariokansen voor de bodemopbouw binnen een vak, is een schematiseringsfactor niet van toepassing, zie hiervoor ook 3.4.9.7.

3.4.9.2 Grondparameters

Er wordt ongedraineerd gerekend voor de slappe lagen (CSSM model). De afleiding van de parameterset is opgenomen in de notitie "IJMD Afleiding geotechnische parameters" (kenmerk: BH5290-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0048, RHDHV, versie 2.0, 2 oktober 2022) [47].

In Tabel 7-3 is het overzicht van de sterkteparameters van IJMD opgenomen. Hierin zijn zowel de gedraineerde als de ongedraineerde grondlagen getoond.

Tabel 7-3: Overzicht sterkteparameters IJMD

Naam grondsoort [-]	VG_{nat}/VG_{veld}^{**} [kN/m ³]	Φ'_{cs} [°]	S [-]	m [-]	POP ^{**} [kN/m ²]
Veen, <11 kN/m ³	10,0	-	0.40	0.87	37,5
Humeuze klei, 11-13 kN/m ³	11,8	-	0.32	0.90	36,0
Klei, 13 -16,5 kN/m ³	14,35	-	0.28	0.91	29,6

Keileem >18 kN/m ³	20,4/17,3	-	-	-	-
Dijkszand >16,5 kN/m ³	19,8/16,5	31,4	-	-	-

Met: $VG_{nat}/VG_{veld}^{*})$ = nat/veldvochtig volumegewicht. Voor grondlagen die zich zowel boven als onder het freatische vlak kunnen bevinden, zijn zowel het verzadigd (nat) als het veldvochtig volumegewicht bepaald.

Φ'_{cs} = hoek van inwendige wrijving (critical state parameter)

S = schuifsterkteratio

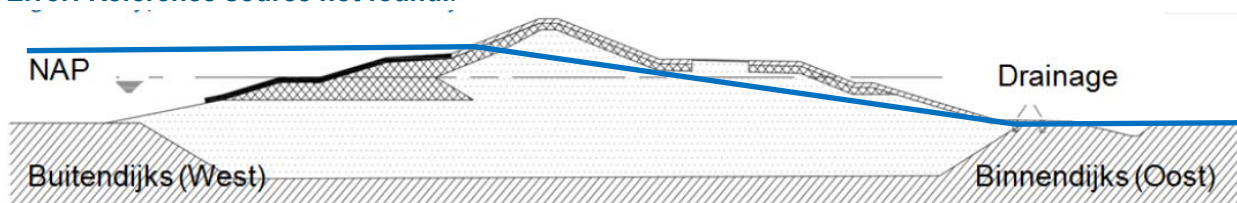
m = schuifsterktetoenameexponent

POP = pré overburden pressure

*) De POP waarden op basis van de proevenverzameling zijn hoog te noemen (zie ook [47] aangaande de hoge OCR waarden).

3.4.9.3 Freatische lijn

De schematisering van de freatische lijn is gebaseerd op Bijlage 1 van het “Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken” (TRWD, TAW, 2004) [19]. Vanwege het ontbreken van een waterremmende bekleding op het onderwater gelegen deel van het buitentalud en de aanwezigheid van een goed werkende drainage in de binnenteen, is de ligging van de freatische lijn aangepast ten opzichte van “Geval 2A: Zandkern en samendrukbare ondergrond”. De gehanteerde schematisering is weergegeven in **Error! Reference source not found.**



Figuur 3-8: Schematisering freatische lijn IJsselmeerdijken

Deze aanname is mogelijk conservatief. Ten behoeve van het mogelijk aanscherpen van de schematisering in de verkenningsfase is een analyse op de peilbuismetingen uitgevoerd. Omdat in de dataset geen hoogwater van betekenis voorkomt; de hoogste opzet van het IJsselmeerpeil bedroeg slechts 0,5 m, is het uitvoeren van een responsanalyse niet heel zinvol geacht. Zodra een hoogwater met een hoogte van tenminste 1,0 m is opgetreden, zal een nieuwe analyse worden uitgevoerd. Dit leidt mogelijk tot een optimalisatie van de ligging van de freatische lijn onder hoogwatercondities.

3.4.9.4 Stijghoogte watervoerende zandlagen

Het IJsselmeer staat in grote delen van het tracé pas op grote afstand van de dijk in contact met de Pleistocene zandondergrond. Ook in de dagelijkse situatie resulteert dit in een relatief hoge waterdruk (stijghoogte) in de zandondergrond. Onder maatgevende (hoogwater) omstandigheden zal deze stijghoogte mogelijk nog enigszins toenemen. De stijghoogte in de watervoerende zandlaag is niet eenduidig te schematiseren op basis van het TRWD [19]. Daarom is aangenomen dat de stijghoogte verloopt van MHW (100 m voor de kruin) naar Gemiddeld polderpeil (100 m achter de kruin).

Uit de analyse van de peilbuismetingen blijkt dat de stijghoogte in het Pleistocene zandpakket sterk beïnvloed wordt door het polderpeilbeheer. Tevens is te zien dat de gemeten opzet op het IJsselmeer (0,5 m) een geringe invloed heeft op de stijghoogte (circa 0,1 m). Gezien de grote afstand tot de opzet bij een maatgevend hoogwater, biedt deze data onvoldoende basis om een extrapolatie van de stijghoogte op te baseren. Voornamelijk is daarom het uitgangspunt ten aanzien van de stijghoogte 2 nog niet aangepast. Bij een opzet van tenminste 1,0 m, zal de data nogmaals geanalyseerd worden om te beoordelen of een optimalisatie van dit uitgangspunt mogelijk is.

3.4.9.5 Freatische lijn en stijghoogte bij val na hoogwater

De schematisering van de freatische lijn bij een val na hoogwater wordt gebaseerd op de schematisering voor STBI (Paragraaf 3.4.9.3 **Error! Reference source not found.**), waarbij het buitentalud verzadigd

verondersteld wordt tot 0,3 m onder maaiveld. Er wordt uitgegaan van een van naar hetzelfde niveau als in de beoordeling, de grootte van de val neemt toe in de berekeningen voor 2080, doordat het meerpeil toeneemt.

3.4.9.6 Maatgevend glijvlak

De maatgevende glijcirkel is in afwijking van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit (nov. 2019) bepaald aan de hand van de volgende ontwerpfilosofie:

- Analyse A: Bij de stabiliteitsberekeningen zonder significant overslagdebiet wordt geen rekening gehouden met het optreden van erosie ten gevolge van golfoverslag. Conform het WBI zou de maatgevende glijcirkel in dit geval gekozen dienen te worden met een insteek in de kruin van de dijk. Aangezien het een volledige zanddijk betreft, is rekening gehouden met nazakken en secundaire glijvlakken in het binnentalud. De glijcirkels in het bovenste binnentalud worden daarom eveneens als maatgevend beschouwd bij de stabiliteitsberekeningen van analyse A.
- Analyse B: Aangezien het een volledige zanddijk betreft, worden alle glijcirkels, ook die onder in het onderste binnentalud, maatgevend geacht in de situatie significante overslag. Zand is immers in het geheel niet erosiebestendig en een klein glijvlak kan in dat geval leiden tot verlies aan hoogte door erosie, waarmee de standzekerheid van de dijk niet langer gegarandeerd kan worden.

Voor STBU worden alleen glijvlakken beschouwd die de bekleding doorsnijden. In geval de glijvlakken de bekleding doorsnijden is aangenomen dat dit leidt tot falen van de waterkering.

3.4.9.7 Schematisering dijkopbouw en ondergrond

De dijken van Flevoland zijn in de periode 1950-1957 aangelegd in een zandcunet. Hiervoor zijn de holocene kleilagen afgegraven. Van de holocene laag is circa 1 m achtergebleven om een waterdichte afsluiting te vormen tussen de dijk kern en de pleistocene ondergrond. De dijk kern is opgebouwd uit zand en afgedekt met een kleilaag (zie figuur 3-5 **Error! Reference source not found.**).

De geologische opbouw van de ondergrond is redelijk uniform. Van huidig maaiveld (circa NAP -4,5 m) tot circa NAP -11 m wordt een Holoceen pakket bestaand uit circa 6,5 m samendrukbare grondlagen aangetroffen. De bovenste deklaag van 1,5 à 2,0 m dik, bestaat hoofdzakelijk uit zand- en/of silthoudende klei. Daaronder wordt tot aan de zandondergrond een 4,5 à 5,0 m dik pakket van veen en humeuze/siltige kleilagen aangetroffen. Vanaf circa NAP -11 m bevindt zich de Pleistocene zandondergrond. Lokaal worden zandbanen aangetroffen, dit zijn restanten van voormalige krekens die het gebied doorsneden.

De vakindeling zoals gehanteerd in de veiligheidsbeoordeling wordt als basis in PU fase gebruikt. Uit het aanvullend uitgevoerde veldonderzoek (boringen en sonderingen, Wiertsema, 2021) blijkt dat de bodemopbouw in het achterland vrijwel overeenkomt met de SOS schematiseringen die gehanteerd zijn in de veiligheidsbeoordeling [18]. Er zijn echter twee grote afwijkingen geconstateerd:

- De bovenste 1 à 2 m van de deklaag bestaat hoofdzakelijk uit zand in plaats van zand of klei;
- De veenlaag heeft een maximale dikte van van 1 m, in plaats van 4 m. Er is veel meer (humeuze) klei aangetroffen in de ondergrond.

Beide punten zijn onderstaand toegelicht, inclusief de schematisering van de bodemopbouw in de PU fase. In bijlage B is de update van de ondergrondschematisering opgenomen (SOS profielen).

Zandige bovenlaag

De bovenste 1 à 2 m is veelal zandiger dan in de SOS schematiseringen is aangehouden. Dit kwam aan het licht bij het proefstuk waar geofysisch onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van het vaststellen van de geometrie van het zandcunet. Uit de metingen bleek dat het zandcunet weliswaar niet breder is dan op basis van de bestekstekeningen verondersteld mag worden, maar wel dat in de strook tussen binnenteen en kwelsloot meer zand aanwezig is dan gedacht. Uit de boringen en sonderingen (Wiertsema 2021) in de rest van het traject blijkt dat dit beeld bevestigd wordt. Op een enkele locatie na, blijkt overal een zandlaag met een dikte van 1 à 2 m aanwezig te zijn. Dit heeft met name consequenties voor het gewicht van deze toplaag (de veelal geschematiseerde kleilaag heeft een volumegewicht van 15 kN/m^3 , terwijl voor zand een volumegewicht van $18/20 \text{ kN/m}^3$ (droog/nat) aangehouden wordt. In de ontwerpberekeningen in de PU fase zal de schematisering van deze bovenlaag als zand worden aangehouden, met uitzondering van enkele locaties waar wel klei is aangetroffen.

Veenlaagdikte

Uit de aanvullende boringen en sonderingen (Wiertsema, 2021) blijkt dat de veenlagen in de oorspronkelijke Zuiderzeebodem doorgaans beperkt van dikte zijn (circa 1 m). In plaats daarvan wordt relatief veel humeuze klei of klei aangetroffen [39].

Op enkele locaties binnen het dijktraject zijn geulafzettingen aangetroffen. Deze zijn echter niet uitsluitend zandhoudend. Op slechts één locatie is een zandbaan aangetroffen. De overige geulachtige afzettingen zijn zandige variaties op de kleiafzettingen van de Zuiderzeebodem. Het betreft de zogenaamde kwelderafzettingen uit de SOS schematisering. Ter plaatse van de zandbaan is een separate schematisering opgesteld.

Nieuw geotechnisch onderzoek

Ten behoeve van het ontwerp van de teenconstructie zijn in het meest recente grondonderzoek (Inpijn, 2023) enkele sonderingen uitgevoerd in het buitentalud/voorland van de dijk. Dit aanvullend grondonderzoek wordt gebruikt om de dimensionering van de teenconstructie aan te scherpen.

Ter plaatse van het voorland is ten behoeve van de aanleg van de vooroever ook aanvullend geotechnisch onderzoek uitgevoerd (Inpijn Blokpoel, 2023). Dit grondonderzoek is niet gebruikt om de ondergrondscenario's aan te passen, omdat de afstand tot de dijk hiervoor te groot is. Dit onderzoek wordt uitsluitend toegepast voor het ontwerp van de vooroever.

Om dit moment bevindt het laboratoriumonderzoek (eveneens behorend bij nader onderzoek Inpijn, 2023) zich in een afrondende fase. De eindresultaten van het aanvullend onderzoek (geotechnisch lengteprofielen en sterkte- en samendrukkingsparameters ter plaatse van de vooroever) worden aangewend voor het ontwerp van de vooroeverdam en vooroeverplateau. Het betreft met name zettingsanalyses ten behoeve van het inschatten van de te verwachten restzettingen en stabiliteitsanalyses ten behoeve van de uitvoerings- en eindstabiliteit.

3.4.9.8 Schematiseringsfactor

In de PU fase wordt een geotechnische vakindeling opgesteld en worden per vak nieuwe nieuwe SOS profielen opgesteld aan de hand van het aanvullend grondonderzoek dat in de verkenningsfase is uitgevoerd. Er wordt gewerkt met scenariokansen en niet met één basisschematisering per vak. De reden hiervoor is dat uit de aanvullende boringen en sonderingen blijkt dat de bodemopbouw op korte afstand dusdanig variabel is, dat er geen sprake is van maatgevende basisschematisering per vak. Volgens de methode beschreven in OI2014 wordt een schematiseringsfactor opgesteld voor macrostabiliteit, in overeenstemming met bijlage B van het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren (TRGS) bij Dijken (ENW, 2012) [24]. Omdat met scenario's gerekend wordt voor de bodemschematisering, wordt de schematiseringsfactor op 1,0 gesteld. Wel worden aanvullende

gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de invloed van de hydrologische schematisering in beeld te brengen.

3.4.9.9 Macrostabieleit in combinatie met significante golfoverslag

Een verificatie bij een waterstand waarbij sprake is van significante golfoverslag (nader gespecificeerd in de KPR-factsheet “Voorlopige werkwijze macrostabieleit i.c.m. golfoverslag OI2014v4”) [23] en wordt gerekend met een gereduceerde schadefactor. In deze stabiliteitsanalyse moet rekening worden gehouden met het effect van infiltratie op de freatische lijn en op het feit dat een oppervlakkige glijcirkel de erosiebestendigheid van de dijk kan aantasten. Bij deze verificatie kan dus niet worden uitgegaan van de gebruikelijke zoneringsmethode en is maatwerk nodig. De resultaten van de geavanceerde toets “Afschuiving bekleding binnentalud tijdens overslag” (Deltares, 2002) [25] worden gebruikt om het effect van infiltratie op de freatische lijn te schematiseren.

3.4.9.10 Rekenmodellen Macrostabieleit Binnenwaarts

De sterkteberekeningen worden uitgevoerd met het model D-Stability, versie 2021.02 (Deltares, 2022) De benodigde belastingen (waterstanden bij terugkeertijden en golfoverslag t.b.v. toename freatische lijn) worden uitgevoerd met Hydra-NL 2.8.

3.4.9.11 Pipingcontrole ontwerp

De ontwerpaanpak in de PU fase gaat ervanuit dat de situatie ten aanzien van dit faalmechanisme niet negatief wordt beïnvloed door de voorgestelde ontwerp oplossingen. Dit wordt geverifieerd bij de uitwerking van kansrijke alternatieven. Hierbij wordt het OI2014v4 gevolgd, daarnaast wordt een strengere eis voor piping gehanteerd (zie paragraaf 3.1).

Voor de ontwerpverificatie wordt gebruik gemaakt van probabilistische berekeningen met de rekenregel van Sellmeijer, gebruik makend van HKV-python scripts (piping fragility curve creator). De hiervoor benodigde parameters zijn reeds bij de beoordeling verzameld en beschreven in Paragraaf 2.3 van het Logboek STPH Piping (Smeenge, 2019) [29], behorende bij de WBI2017 rapportage. Het gaat om de volgende parameters:

- Grondparameters zijn beschreven in het Logboek Piping
- Doorlatendheid Pleistocene zandlagen
- Doorlatendheid Holocene deklaag
- Korreldiameter d_{70} bovenste zandlaag
- Dempingsfactor
- Verzadigd volumiek gewicht cohesieve deklaag
- Volumegewicht water
- Volumegewicht van zandkorrels onderwater

3.4.9.12 Microstabieleit en Gras Afschuiven Binnentalud (STMI en GABI)

Door het stijgen van de freatische lijn in de dijk (hoog water i.c.m. infiltratie) kan grondwaterstroming op/langs het binnentalud optreden of kunnen de drukken bij het binnentalud toenemen, leidend tot micro-instabiliteit (STMI) of het -oppervlakkig- afschuiven van het binnentalud (GABI). Er kan sprake zijn van stroming loodrecht op het talud (zandige taluds onder water) of horizontale uitstroming van water (zandige taluds boven water). Wanneer de stroming tot het uitspoelen van zand leidt kan het talud instabiel worden. De stroming kan ook evenwijdig aan het talud zijn wanneer de toplaag meer doorlatend is dan de kern. Bij stabiliteit bij overslag treedt dit type stroming wel op. Tenslotte kunnen waterdrukken zich van binnenuit opbouwen onder een afdekkende kleilaag. Dit kan zich voordoen bij een zandkern met een afdekkende kleilaag aan de binnenzijde, zowel onder als boven water.

Hoewel er geen ontwerpogave voor het faalmechanisme Microstabiliteit is, kunnen ontwerp oplossingen voor andere mechanismen in theorie voor een opgave zorgen. Daarom zal er altijd een ontwerpverificatie voor STMI en GABI plaatsvinden. Elk ontwerp dient te voldoen aan de eisen die aan STMI (en GABI) worden gesteld. De ontwerpaanpak in de PU fase gaat ervanuit dat de situatie ten aanzien van dit faalmechanisme niet negatief wordt beïnvloed door de voorgestelde ontwerp oplossingen. Microstabiliteit is dus geen mechanisme dat bepalend is voor de dimensies van de dijk

In OL2 worden alle ontwerpen gecontroleerd op alle bekende faalmechanismen en zo ook op STMI en GABI. Voor ontwerp wordt zodoende een integrale veiligheidsbeschouwing uitgevoerd. Op een aantal locaties is bekend dat er geen drainage aanwezig is, dit betreft:

- DP18,1-DP18.3 - Aansluiting Rijksweg A6 op kruin dijk;
- DP25.5-DP26.0 - Plateau hoogspanningsmasten Flevocentrale;
- DP28.4-DP29.1 - Aansluiting weg IJsselmeerdijk op binnenberm dijk.

Voor deze locaties wordt een ontwerp oplossing gedimensioneerd. De huidige oplossing om te voorkomen dat STMI of GABI op kunnen treden, namelijk drainage, ligt ook als ontwerp oplossing voor de hand, indien STMI/GABI onvoldoende is. Bij een binnenwaartse (traditionele) versterking moet de drainage mogelijk worden verlegd en als de capaciteit in het ontwerp ontoereikend is, dient deze te worden vergroot. Bij het ontwerp van een nieuwe/aanvullende drainage zal onder meer gebruik gemaakt worden van de Publicatie Drainagetechnieken van de HWBP-POV Macro stabiliteit [28] en van de meest recente peilbuiswaarnemingen in het gebied. Opgemerkt wordt dat drainage óók nodig is vanwege de bruikbaarheidseisen voor de wegen langs de dijk en om overtollig kwelwater tijdens dagelijkse omstandigheden af te voeren, zie ook Paragraaf 3.2.4.



Figuur 3-9: Ligging goed werkende drainage (dagelijkse omstandigheden). Bron: Logboek STMI (Fiktorie, 2018) [27]

3.4.10 Zettingsanalyses

In de PU fase zijn de volgende zettingsanalyses voorzien:

- Klassieke dijkversterking: zettingen, restzettingen en restzettingsverschillen tussen bestaande dijk (cunet) en binnendijkse versterking;
- Vooroever: zettingen, restzettingen en tijdzettingsverloop vooroeverdam met en zonder cunet.

Voor het uitvoeren van de zettingsanalyse worden de samendrukkingsparameters gehanteerd welke zijn afgeleid op basis van het aanvullend veld- en laboratoriumonderzoek [39]. In aanvulling hierop wordt momenteel aanvullend grondonderzoek uitgevoerd ter plaatse van de IJsselmeerbodem. Op deze

grondlagen worden aanvullende samendrukkingsproeven uitgevoerd om inzicht te krijgen in het te verwachten zettingsgedrag van de vooroever. De samendrukkingsparameters onder de IJsselmeerbodembodem wijken mogelijk af van de parameters die in het achterland van de dijk zijn verkregen vanwege de afwijkende omstandigheden (volledig onder water versus onderhevig aan bovenbelasting, rijping en veroudering. Omdat de zettingsanalyses worden gebruikt voor het maken van kosteninschattingen, wordt voorgesteld om met gemiddelde waarden te rekenen. De zettingsanalyses worden uitgevoerd met behulp van D-Settlement (versie 21.2). Zodra de aanvullende samendrukkingsproeven zijn uitgevoerd, wordt een nieuwe samendrukkingsparameterset opgesteld ten behoeve van het dimensioneren van de vooroever. Voor de klassieke dijkversterking wordt wel gebruik gemaakt van onderstaande parameters.

Tabel 3-13: Samendrukkingsparameters IJMD – gemiddelde waarden

Grondlaag	Isotache A	Isotache B	Isotache C
Veen	0,0310	0,3073	0,0212
Humeuze klei	0,0219	0,2297	0,0151
klei	0,0107	0,1510	0,0086

3.4.11 Kunstwerken in dijk

Er is een hevel aanwezig in het dijktraject (Hevel Lelystad-Noord). De hevel voldoet niet aan de waterveiligheidsvereisten o.b.v. de NEN. Daarnaast zal deze aangepast moeten worden, zodat de hevel operationeel kan zijn na de aanleg van de vooroever. Benodigde aanpassingen worden in ontwerploop 2 in beeld gebracht en in een voorontwerp met eisenset verwerkt.

3.5 Ruimtelijke uitgangspunten

Ruimtelijke uitgangspunten zijn vastgelegd in het Ruimtelijk kwaliteitskader. BoschSlabbers heeft in opdracht van ZZL het ruimtelijk kwaliteitskader geschikt gemaakt voor gebruik tijdens de planuitwerkingsfase, er is specifiek meer aandacht besteed aan de ruimtelijke inpassing van de vooroever. In de ontwerploops zal nadrukkelijk getoetst worden of het ontwerp voldoet aan het ruimtelijk kwaliteitskader. Daarvoor wordt actief contact gezocht met BoschSlabbers voor advies. Ruimtelijke eisen uit de SES zijn opgenomen in de SES 2.2. 17-05-2023. 17-05-2023. In ontwerploop 2 wordt ook vastgelegd op welke wijze ruimtelijke kwaliteit wordt geborgd in de realisatiefase.

4 Uitgangspunten omgeving

4.1 Algemeen

De belangrijkste eisen/wensen vanuit de omgeving zijn opgenomen in de KES (klanteisspecificatie), welke continu wordt bijgewerkt aan de hand van gesprekken met omgevingspartijen en beheerorganisatie van het waterschap. Eisen/wensen voor ruimtelijke kwaliteit zijn opgenomen in het ruimtelijk kwaliteitskader (RKK). Het vigerende ruimtelijk kwaliteitskader dateert is inontwerploop 1 van de planuitwerkingsfase verder aangescherpt (m.n. gericht op de vooroever). De eisen en wensen in zowel de KES en het RKK vormen belangrijke input voor het technisch ontwerp, waar zoveel mogelijk rekening met deze eisen en wensen zal worden gehouden. Het zou echter best kunnen dat conflicten met andere (waterveiligheids)eisen en wensen naar voren komen tijdens het ontwerpproces en dat niet al deze eisen en wensen derhalve vervuld kunnen worden. Belangrijke afwegingen tussen conflicterende eisen en wensen worden, in overleg met het waterschap, gemaakt in het ontwerpproces.

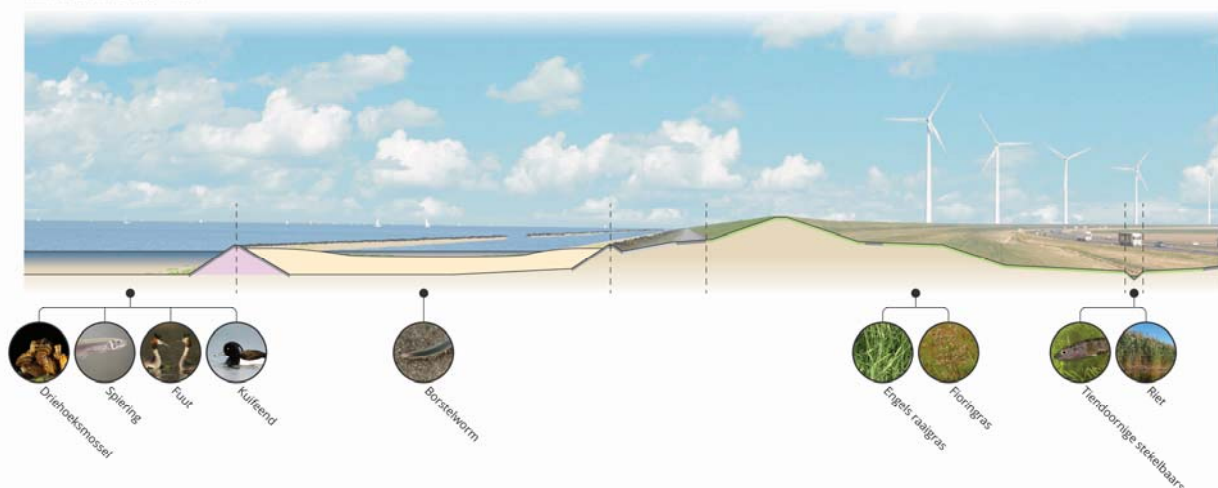
4.2 Meekoppelkansen opgenomen in planuitwerkingsfase

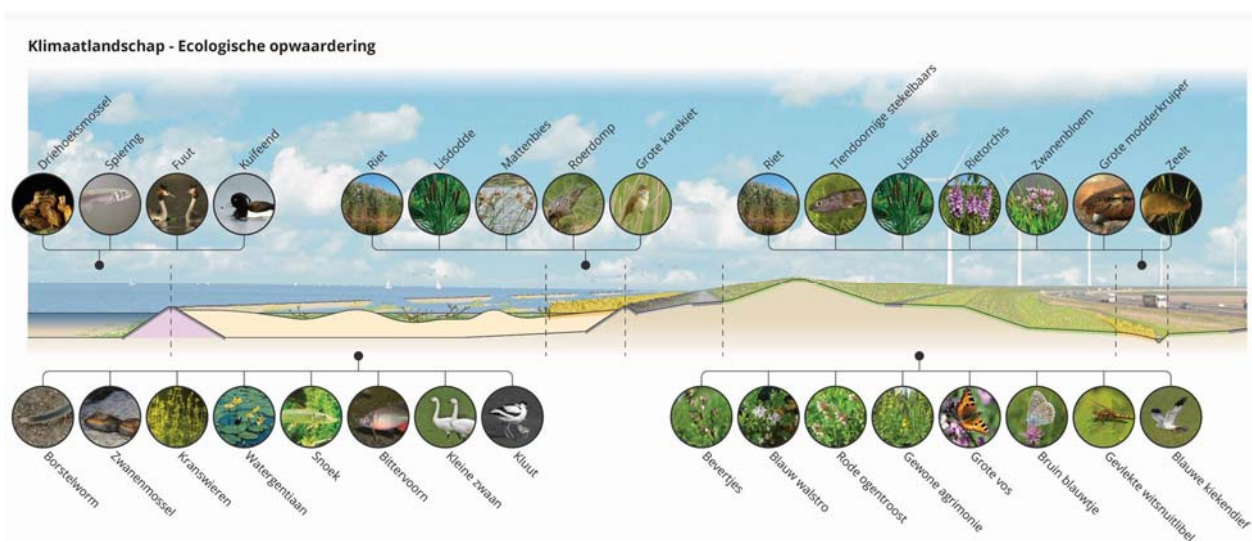
Een uitputtend overzicht van alle verkende meekoppelkansen is opgenomen in [Notitie Kansrijke Meekoppelkansen](#). In deze notitie is afgewogen of aangedragen ideeën en wensen ingepast of meegekoppeld kunnen worden. Vervolgens zijn voor de meekoppelkansen op basis van de criteria haalbaarheid, financierbaarheid, inpasbaarheid en maatschappelijke meerwaarde bepaald of ze verder uitgewerkt worden. In de planuitwerkingsfase zelf is ook nog een meekoppelkans naar voren gekomen, namelijk het verbreden van de IJsselmeerdijkweg. Voor deze meekoppelkans wordt aan de hand van genoemde criteria bepaald of deze ingepast kan worden. De meekoppelkansen die in de planuitwerkingsfase worden meegenomen zijn hieronder benoemd.

4.2.1 Ecologische optimalisatie vooroever

Het Voorkeursalternatief gaat uit van een vooroever die wordt ingericht dat deze de waterveiligheidsopgave oplost en vergunbaar is. Daarmee ontstaat al veel ecologische meerwaarde ten opzichte van een klassieke dijkversterking. Er is echter meer ecologische waarde te behalen door een optimale ecologische inrichting en beheer: de ecologische plusvariant. Dit valt niet onder een sober en doelmatig ontwerp, maar betreft een meekoppelkans. In onderstaand figuur is een eenvoudige visualisatie opgenomen van een ecologische optimaal ingerichte vooroever in relatie tot een basale ecologische inrichting.

Klimaatlandschap - Kaal





Figuur 4-1: Klimaatlandschap “kaal” versus een klimaatlandschap “ecologische opwaardering”.

In de ontwerploops wordt een eco+ variant uitgewerkt, waarin geoptimaliseerd wordt op het aspect vergroten biodiversiteit. De lengte van de vooroever is een parameter die gevarieerd kan worden op basis van beschikbaar budget/aanvullende subsidie. Op dit moment is de maximale maat van de (ecologische) vooroever 120m in richting van het IJsselmeer gemeten vanaf de bestaande dijkteen.

4.2.2 Beheerpad opwaarderen naar fiets- en wandelpad

Het beheerpad op het buitentalud van de dijk moet grotendeels vervangen worden. Dit is een kans om dit beheerpad op te waarderen naar een fiets- en wandelpad. Dit is een wens van onder andere fietsersbond, wandelnet, gemeenten en provincie. In ontwerploop 1 en 2 wordt deze meekoppelkans uitgewerkt. Onderstaand figuur toont een aantal locaties waar de fiets- en wandelmogelijkheden in de huidige situatie niet optimaal zijn.



Figuur 4-2: Aantal huidige knelpunten voor recreatief medegebruik van het beheerpad.

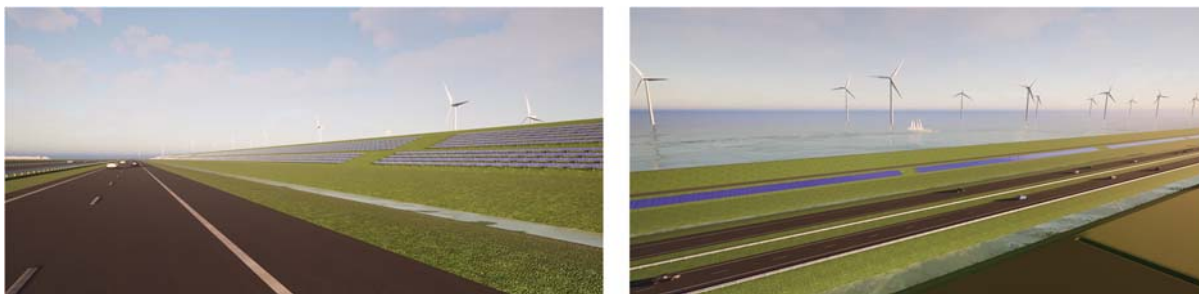
4.2.3 Ontwikkelen recreatiepunt

De fietsroute over de IJsselmeerdijk is lang en heeft weinig interessante punten om naartoe te fietsen. Het is de wens van Waterschap, Provincie en gemeenten Dronten en Lelystad om het traject qua recreatiemogelijkheden te verbeteren. Deze meekoppelkans wordt samen met het opwaarderen van het beheerpad uitgewerkt.

4.2.4 Zonnepark op binnentalud

Rijkswaterstaat heeft een project waarbij zij op gronden langs de snelweg zonneparken realiseert. Voor Flevoland is dit project Zon-A6. De IJsselmeerdijk en de naastgelegen A6 zijn onderdeel van de scope

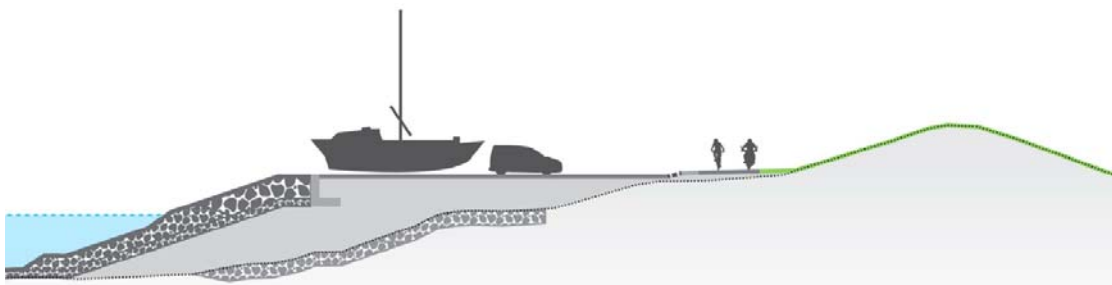
van dit project. Zuiderzeeland verkent samen met andere landelijke partijen de mogelijkheid en wenselijkheid van zonnepanelen op dijken. Inpassing van zonnepanelen is een raakvlakproject, dit uitgangspunt blijft in ontwerploop 2 gehandhaafd.



Schetsmatige weergave van een zonnepark op de IJsselmeerdijk

4.2.5 Uitbreiding FlevoMarina

Bij de FlevoMarina voldoen over een traject van 100m en een traject van 80m (aan weerszijden van het hoofdgebouw) de bestaande dijkteen, de zetsteenbekleding en de asfaltbekleding niet. De gekozen voorkeursvariant is een sobere versterking met een overlaging van stortsteen (ook over de bestaande zetsteen) en het vervangen van het asfalt op de buitenberm. Deze variant is geheel HWBP subsidiabel. Echter is het versterkingsprincipe van deze variant relatief eenvoudig uit te breiden richting IJsselmeer waardoor er extra (droog) werkterrein voor de FlevoMarina ontstaat, zie Figuur 4-3 voor een visualisatie. Dit is een wens van FlevoMarina en daarmee een potentiële meekoppelkans, waarvoor aanvullende financiering benodigd is. In ontwerploop 2 wordt definitief besloten of deze meekoppelkans doorgang vindt.



Figuur 4-3: Potentiële meekoppelkans FlevoMarina

4.2.6 Verbreding IJsselmeerdijkweg

De huidige weg op de binnenberm van de IJsselmeerdijk traject ontsluit de Maximacentrale en Flevokust (traject klokbekeerweg tot N307). De huidige breedte van de weg is conform CROW richtlijnen voor wegen te smal. Inpassing van een weg conform de ontwerprichtlijnen van CROW betekent een bredere weg en grotere veiligheidsbermen, waardoor het dijkprofiel in binnenwaartse richting opschuift. Deze meekoppelkans is recent (april 2023) naar voren gekomen. In ontwerploop 1 van de planuitwerkingsfase is deze meekoppelkans uitgewerkt en afgewogen, waarbij is gebleken dat er onvoldoende budget voor vrijgemaakt kon worden. Hierbij is deze meekoppelkans (voorlopig) afgevallen.

4.3 Nieuwe meekoppelkansen

Nieuwe meekoppelkansen, die invloed hebben op het ontwerp, kunnen worden geïntegreerd in het ontwerpproces, maar in ontwerploop 2 zal dit -zeer waarschijnlijk- leiden tot een vertraging van het

Projectgerelateerd

project. Op dit moment zijn er geen signalen dat er nieuwe meekoppelkansen zich aandienen in ontwerploop 2.

4.3.1 Ontwerpagenda

In ontwerploop 2 wordt de volgende ontwerpagenda gehanteerd:

Ontwerp- ateliers	gebied/ onderdeel	Planning	Doel, uitgangspunten en acties
1	Flevo-Marina	1 ^{ste} moment september 2 ^{de} moment medio oktober Mogelijk meer na keuze voor meekoppelkan- s	Bespreken voortgang project; tonen schetsen (evt. meerdere opties) van versterkingsopgave, ophalen specifieke wensen a.d.h.v. schetsen: Er is OL1 overleg geweest met FlevoMarina. Aan de hand van dit overleg is een alternatief HWBP susidiabel ontwerp opgesteld en een meekoppelkans ontwerp (aanvullende financiering benodigd). Deze zijn voorgelegd aan FlevoMarina en FlevoMarina beslist uiterlijk voor 13 oktober welke variant de voorkeur geniet. Indien gekozen wordt voor meekoppelkans dan intensiveert het contact met FlevoMarina en wordt de meekoppelkans de geïntegreerde dijkversterkingsoplossing.
2	Flevokust	Medio oktober	Afstemmen voorstel aansluiting vooroever tot aan flevokust, definitieve keuze maken
3	Maxima-Centrale	Medio oktober	Afstemmen afstand vooroever tot aan centrale, definitieve keuze maken
4	Recreatief medegebruik	Mediotot eind oktober	Vooraf project-interne sessie om te checken wat wij graag willen meenemen (als vervolg op de prioriteringssessie uit OL1) Terugkoppeling deelnemers vorige sessie: <ul style="list-style-type: none"> Tonen uitwerking van OL1 van wandel- en fietspad, terugkoppeling bevindingen en uitwerking prioriteitenlijst Ophalen specifieke wensen voor input OL2 Definitief maken wat wel/niet binnen de 1 miljoen euro van de provincie past en kan.
5	Ketelbrug	Eind oktober	Digitale bespreking Raakvlak/aansluiting met RWS bespreken. <ul style="list-style-type: none"> Opnieuw check ophalen eisen/wensen

Expert- meetings	gebied/ onderdeel	Planning	Doel, uitgangspunten en acties
1	Vooroever	september	Bespreken met experts uitkomsten modelstudies en vertaling naar ontwerp (check op robuustheid en ontwerpmethodiek) <ul style="list-style-type: none"> inhoudelijke bespreking met expert van Deltares
2	ecologie	oktober/ november	Bespreken met experts uitkomsten natuurstudies en vertaling naar ecologisch en ruimtelijk ontwerp (Deze sessie richt zich met name op de ecologische inrichting van de vooroever)

Informatie- bijeenkomst	gebied/ onderdeel	Planning	Doel, uitgangspunten en acties
----------------------------	----------------------	----------	--------------------------------

1	Gehele traject	September	Voortgang tonen en bespreken ontwerploop 1, Ophalen aandachtspunten ontwerploop 2.
---	----------------	-----------	---

4.4 Grondwater

Update verwacht op basis van memo uitgangspuntennotitie geohydrologische analyse zodra deze definitief is

4.4.1 Verandering stijghoogte

Advies over Omgevingseffecten als gevolg van beïnvloeding stijghoogte in eerste watervoerende pakket. Voor dit onderdeel wordt met name gekeken naar het effect van een met waterdoorlatend (zand/grind) gevuld cunet op de hydrologie (stijghoogte). De verandering van de stijghoogte wordt bepaald met het Azure grondwatermodel. Het model wordt getoetst aan de beschikbare peilbuismetingen. Indien nodig wordt het model lokaal verfijnd. Door middel van stationaire berekeningen wordt de verandering van de gemiddelde stijghoogte bepaald. Met ZZL wordt besproken op welke criteria getoetst moet worden.

4.4.2 Verandering kwel en mogelijke verzilting

Op basis van de modelberekeningen met het Azure grondwatermodel wordt bepaald of er sprake is van verandering van de hoeveelheid kwel (in de kwel sloten langs de dijk en verder landinwaarts). Aan de hand van gegevens over de grondwaterkwaliteit (zoutgehalte) en waterkwaliteit in de sloten wordt bepaald of er risico is voor toename van verzilting. Hierbij wordt gebruik gemaakt van kaarten met de diepte van het zoet/brak/zout grensvlak uit het NHI, data uit DinoLoket/BRO en de rapportage Waterbeschikbaarheid nu en in de toekomst (Zuiderzeeland, 2022). Met ZZL wordt besproken op welke criteria getoetst moet worden.

5 Natuur

5.1 Inleiding

De versterking van de IJsselmeerdijk wordt ook aangegrepen om de biodiversiteit op en langs de dijk en kwelsoot te vergroten. De aanleg van een vooroever biedt hiervoor veel mogelijkheden. Er ontstaat een soort van lagune, waarin diverse structuren kunnen worden aangebracht om de ontwikkeling van (onder)watervegetatie te stimuleren en die tevens schuilmogelijkheden aan vissen bieden. Dit zal viseters onder vogels en zoogdieren (otter) aantrekken. Het ondiepe water biedt ook foerageermogelijkheden voor grondeleenden. De luwte in de lagune (minder golven) maakt het ook een optimaal rustgebied voor watervogels.

Op delen van de dijk waar een meer traditionele dijkversterking plaatsvindt kan bij het terugbrengen van de vegetatie worden gekozen voor een gras/kruidentmengsel in plaats van het traditionele D1-grasmengsel om de grond vast te leggen. Kruiden aan het grasmengsel toevoegen heeft twee voordelen: de grond wordt beter vastgelegd (de wortels van de kruiden gaan dieper dan die van het gras en kruiden zijn iets minder droogtegevoelig) en kruiden trekken meer insecten en andere ongewervelde dieren aan, waardoor de dijk rijker aan soorten wordt. Op de delen van de dijk waar de vooroever komt, kan middels aangepast beheer en mogelijk bijzaaien eveneens voor een meer kruidenrijkere vegetatie worden

gezorgd. Meer ongewervelden trekt overigens ook meer vogels, vleermuizen en kleine insectenetters (spitsmuizen, egels) aan.

Bij de zoektocht naar het maximaliseren van de biodiversiteit ligt de wens om te komen tot een klimaatlandschap; het hele gebied van een binnendijkse biodiverse kwelsloot tot een buitenwaartse biodiverse dijkteen en/of vooroeverdam.

5.2 Uitgangspunten

We gaan uit van een gesloten graszode. Uit het graszodenonderzoek in maart 2023 blijkt dat dit voor 90% van de dijk het geval is. De doorworteling is over de hele dijk goed, slechts op 2% van de 140 monsterlocaties was de doorworteling matig (de plag bleef niet intact bij opnemen).

- We gaan uit van een gesloten graszode. Uit het graszodenonderzoek in maart 2023 blijkt dat dit voor 90% van de dijk het geval is. De doorworteling is over de hele dijk goed, slechts op 2% van de 140 monsterlocaties was de doorworteling matig (de plag bleef niet intact bij opnemen).
- Bij het realiseren van een kruidenrijke dijk gaan we ervan uit dat het beheer een maaibeheer is, zonder begrazing. Er wordt derhalve van uitgegaan dat een Glashaverhooiland wordt gecreëerd.
- Voor het gras/kruidenmengsel wordt inheems zaad gebruikt. Bij voorkeur uit de regio, maar in ieder geval uit Nederland.
- Bij de aanleg van de vooroever wordt rekening gehouden met de verplichting van Windplan Blauw om een rustgebied voor futen te creëren.
- Bij de aanleg van de vooroever wordt rekening gehouden met het naastgelegen Windplan Blauw. Onderzocht wordt in hoeverre de kans op conflicten, m.n. aanvaringen tussen vogels en windturbines, zal toenemen en als een toename wordt verwacht hoe het ontwerp zodanig kan worden aangepast dat geen toename optreedt of deze in ieder geval verwaarloosbaar klein is.
- Bij het ontwerp en de realisatie van de vooroever en de dijkversterking in het algemeen houden we rekening met de (mogelijke) aanwezigheid van beschermde soorten en de instandhoudingsdoelstellingen van het Natura 2000-gebied IJsselmeer. Wij zullen tevens onderzoeken of met de realisatie van de vooroever een bijdrage aan de realisatie van de instandhoudingsdoelstellingen kan worden geleverd.

5.3 Uit te voeren onderzoek

De natuuronderzoeken die wij uitvoeren hebben tot doel:

1. Vaststellen nulsituatie, zodat later kan worden bepaald of het ontwerp tot een toename van de biodiversiteit heeft geleid;
2. Inschatten van mogelijke conflicten tussen de aanleg/ontwerp van de vooroever en Windplan Blauw en Engie Maxima-centrale.
3. Bepalen van de huidige kwaliteit van de graszode zodat besloten kan worden of de graszode kan worden hergebruikt.
4. Vaststellen van de (mogelijke) aanwezigheid van beschermde natuurwaarden waarmee in het ontwerp en tijdens de realisatie rekening moet worden gehouden.

Wij voeren de volgende natuuronderzoeken uit.

A. Onderzoek aanwezigheid beschermde soorten

Het aanvullen van reeds uitgevoerde bureauonderzoeken met een veldinventarisatie waaruit duidelijk wordt welke beschermde soorten (flora en fauna) in het gebied aanwezig zijn:

Grondgebonden zoogdieren

Het onderzoek naar de grondgebonden zoogdieren bestaat uit:

Onderzoek naar sporen. Het binnendijs deel van het plangebied, *in casu* de omgeving van de kwelsloot, wordt eenmalig in de periode maart – april langsgelopen op zoek naar sporen van zoogdieren. Daarbij gaat de meeste aandacht naar de plekken waar de kans op het aantreffen van sporen het grootst is, namelijk daar waar mogelijke verbindingen met geschikt leefgebied verder landinwaarts zijn, zoals Kamperhoek, Visvijverbos, Houtribbos en Zuigerplasbos.

Inzet van cameravallen en sporenbuizen. Op plekken waar geschikt leefgebied is voor kleine marterachtigen worden gedurende zes weken in de periode maart – mei gedurende zes weken camera's en sporenbuizen geplaatst. De camera's worden zodanig geplaatst dat zij ook de andere marterachtigen kunnen detecteren, indien aanwezig.

Vleermuizen

Van de vleermuizen brengen wij de essentiële foerageergebieden en vlieg- en migratieroutes in kaart. De dijk biedt geen mogelijkheden voor verblijfplaatsen van vleermuizen. Het vleermuisonderzoek wordt conform het Vleermuisprotocol (versie 2021) uitgevoerd. Dit houdt in dat in de periode mei – september worden vier veldbezoeken aan het plangebied worden gebracht. De nadruk ligt op gebieden waar een verbindingroute met gebieden met verblijfplaatsen wordt verwacht, zoals de bospercelen langs/in de buurt van het plangebied. Van het noordoostelijke deel van het plangebied is dankzij onderzoek in 2016-2017 voor Windplan Blauw al veel bekend over het voorkomen van vleermuizen. Ons onderzoek concentreert zich daarom op het gebied ten zuidwesten van de Maxima Centrale. Dit onderzoek gebeurt met batdetectoren.

Daarnaast worden in de perioden maart-april en augustus-september op een aantal plekken (minimaal vier) op de dijk batdetectoren die vleermuisgeluiden automatisch detecteren (Audiomoths) geïnstalleerd. De batdetectoren registreren gedurende een aantal dagen vleermuizen die langs de dijk migreren, naar verwachting vooral meervleermuis en ruige dwergvleermuis.

Broedvogels

In de periode maart tot en met juli brengen wij in de aan het dijktraject grenzende bospercelen de jaarrond beschermde nesten van vogels in kaart. Hiertoe brengen wij drie bezoeken aan het gebied. Ook brengen wij de aanwezigheid van broedvogels op het dijklichaam in beeld gedurende drie bezoeken. Deze inventarisatie richt zich voornamelijk op soorten met een Rode Lijst status (zoals gele kwikstaart en graspieper).

B. Onderzoek vaststellen nulsituatie

Vogels

Wij hebben twee veldonderzoeken in onze aanpak opgenomen:

3. Watervogels

Gedurende een periode van 1 jaar brengen wij de aanwezigheid van watervogels in beeld. Wij tellen twee keer per maand alle watervogels in de gehele oeverzone van het projectgebied. In de periode april tot en met juli zijn minder watervogels aanwezig en tellen wij 1 keer per maand. Deze tellingen zijn aanvullend op de externe monitoring die in het kader van Windplan Blauw wordt uitgevoerd en zich alleen richt op de vogelsoorten fuut en kuifeend in het noordelijk deel van het projectgebied van de versterking van de IJsselmeerdijk.

4. Vliegbewegingen

Gedurende het winterhalfjaar (oktober tot en met maart) gaan wij de relatie tussen het projectgebied en de buitendijkse windturbines van Windplan Blauw in beeld brengen. Dit onderzoek is aanvullend op het radaronderzoek dat door Waardenburg Ecology in voorjaar en zomer van 2022 voor Windplan Blauw is

uitgevoerd. In de periode oktober tot en met maart zijn veel watervogels in het projectgebied aanwezig, waarvan een deel (onder andere kuifeend) een mogelijke interactie heeft met het toekomstige buitendijkse windpark. In de periode van oktober tot en met maart gaan wij maandelijks met een mobiele 2D-radarinstallatie en visuele waarnemers vliegbewegingen van vogels in beeld brengen (totaal zesmaal). Wij richten ons onderzoek primair op het deel van het projectgebied ten noorden van de Maximacentrale, waar op voorhand interactie te verwachten is. Tijdens het onderzoek naar vliegbewegingen wordt bij daglicht gestart en in schemer en donker gericht gekeken naar het eventueel uitvliegen van watervogels tussen slaapplekken en foeragegebieden.

Vissen

Het onderzoek naar het voorkomen van vissoorten bestaat uit:

5. Bureauonderzoek

Wij nemen contact op met Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer om toegang te krijgen tot de resultaten van hun visbemonsteringen. Tevens benaderen wij ENGIE voor de informatie over de vissen aangetroffen in hun waterinlaten. Tot slot benaderen wij de beroepsvissers of zij informatie hebben over de vissoorten die langs de dijk voorkomen. Dit levert met name informatie op over de soorten die in het open water voorkomen en over aal langs de dijk.

6. Veldonderzoek middels elektrisch vissen

Om te achterhalen welke vissoorten zich vlakbij of in de dijk ophouden (denk aan rivierdonderpad en aal tussen het stortsteen) gaan wij op vijf plekken langs de 1A-trajecten (trajecten waar een vooroever komt) elektrisch vissen. Dit doen wij drie keer per jaar, in voorjaar, zomer en najaar. Op de vijf plekken bemonsteren wij 250 m dijk lengte. Om veiligheidsredenen wordt dit veldwerk door twee personen uitgevoerd.

7. Veldonderzoek middels ELFI-glasaaldetector

Met de ELFI-glasaaldetector (www.elverfinder.com) brengen wij het huidige glasaalaanbod in de nabijheid van de aan te leggen vooroever in beeld. Daarnaast geeft het een indicatie van de hoeveelheid glasalen die op weg zijn van het IJsselmeer naar de binnenwateren en mogelijk in de toekomst gebruik gaan maken van de aan te leggen vooroever als opgroeimilieu. Een nulsituatie is belangrijk om het verschil in de toekomst aan te kunnen tonen nadat bijvoorbeeld de vismigratierivier in de Afsluitdijk in werking is gezet. De locatie van de ELFI is mede afhankelijk van de aanwezigheid van elektriciteit en water, anders dan IJsselmeerwater, om een lokstroom te creëren. Indien Rijkswaterstaat akkoord gaat De ELFI wordt bij de Houtribsluizen Ketelbrug geplaatst en staat hier gedurende 10 weken in het migratieseizoen (april-juni). Tweemaal per week worden de gevangen glasalen geteld en vrijgelaten.

C. Nulsituatie biodiversiteit

Onderdelen A en B geven in combinatie met eerder uitgevoerde onderzoeken een goed beeld van de nulsituatie met betrekking tot de grotere diersoorten. In onderdeel E wordt ingegaan op soort(groep)en die met eDNA kunnen worden vastgesteld. Met eDNA kunnen niet alle diergroepen tot op de soort worden gedetermineerd en tevens is niet altijd duidelijk of het DNA-materiaal van de monsterlocatie of van een verderaf gelegen locatie (buiten het plangebied) komt. Daarom passen wij ook bewezen inventarisatietechnieken toe.

Marcofauna

Projectgerelateerd

Voor het onderzoek naar de macrofauna op het buitentalud van de dijk nemen wij op vier plekken tweemaal per jaar stenenmonsters. Het analyseren van de monsters gebeurt in de laboratoria van Waardenburg Ecology. Wij hanteren daarbij de RWS methodiek (zoet).

Diatomeeën

Onder biologische processen op microschaal vallen ons inziens ook de ontwikkelingen in de samenstelling van algen, en met name die van (benthische) kiezelalgen. De aangroei van bentische en epifytische kiezelalgen staat aan de basis van de natuurlijke ontwikkeling van de levensgemeenschappen van de vooroever van de dijk. Omdat kiezelalgen snel reageren op veranderingen in het milieu worden ze beschouwd als 'early warners' bij ecologische veranderingen. Kiezelalgen zijn daarmee uitermate geschikt om de veranderingen in systemen te volgen. Omdat veel informatie over kiezelalgen bekend is en ze relatief makkelijk zijn te bemonsteren en te analyseren, zijn zij een zeer bruikbare indicator voor beoordeling van de waterkwaliteit en de biodiversiteit. Kiezelalgen (en algen in het algemeen) spelen bovendien een rol bij de opname van CO₂ uit de lucht en een goede kiezelalgenpopulatie draagt zodoende bij aan een van de doelstellingen van het project.

De samenstelling van de kiezelalggemeenschappen wordt bepaald door een jaarlijkse bemonstering in de periode april-mei. In totaal nemen wij op acht locaties een monster, twee monsters per traject: 1A, 1B, 1A, 2. De monsters in 1B en 2 dienen als referentie om veranderingen als gevolg van de aanleg van de vooroever te onderscheiden van veranderingen in andere omgevingsfactoren. De monsters worden opgewerkt tot permanente preparaten en geanalyseerd tot op soortniveau. Het maken van de preparaten en de analyses gebeuren in de laboratoria van Waardenburg Ecology.

Waterplanten

Tijdens het elektrisch vissen worden met een hark steekmonsters genomen om te bepalen of en zo ja waar zich waterplanten bevinden. Indien dit nieuwe locaties oplevert ten opzichte van de waterplantenmonitoring van Rijkswaterstaat van 2020 bepalen wij op deze nieuwe locaties de bedekking van de aanwezige waterplanten.

Planten op de dijk

Als aanvulling op de vegetatieopnames (zie D) lopen wij tweemaal de hele dijk langs op zoek naar bijzondere en/of zeldzame plantensoorten. In dit geval: beschermde soorten (Wnb), Rode Lijst-soorten) en exoten (unielijst invasieve soorten). Om de ligging van voor hergebruik na dijkversterking waardevolle vegetaties voldoende nauwkeurig in beeld te brengen worden daarnaast ook de aanwezigheid van SNL-soorten vastgelegd in een raster van 50x50 m. Dit doen wij in mei en augustus 2023.

Korstmossen

Voor het onderzoek naar korstmossen huren wij een korstmossenexpert in, die gedurende twee dagen het buitentalud inspecteert op korstmossen. Van soorten die in het veld niet op naam kunnen worden gebracht worden monsters genomen, zodat deze onder een microscoop nader kunnen worden bekeken en gedetermineerd. De veldgegevens worden aangevuld met gegevens van de NDFF de BLWG.

Insecten (en bloemrijkdom)

Voor het onderzoek naar de insectenfauna brengen wij op twaalf 200m brede stroken over de breedte van de dijk de soortenrijkdom van bijen, zweefvliegen, dagvlinders (meer- en minder mobiele bloembezoekers), sprinkhanen (plaatsgebonden graseters) en libellen (migratie en foerageergebied) in beeld.

De daadwerkelijke bloemrijkdom op de dijk is van grote invloed op de aanwezigheid van bloembezoekende insecten. Daarom wordt voor elke strook het aantal bloemen per soort geteld/geschat volgens de bloeischaal.

Het onderzoek bestaat uit vier inventarisatierondes, respectievelijk in april, mei, juni en augustus, bij goede weersomstandigheden. Op elke onderzoekslocatie bepalen wij op het oog ook de vegetatiekwaliteit, bloei en beheer.

D. Kwaliteit graszode en graslandtype

Voor het onderzoek naar de graszoden en graslandtypen nemen wij om de 500 m een monster. Een monster bestaat uit vier opnames, respectievelijk van het buitentalud, de kruin & boventalud, het ondertalud en de benedenloop. Elke opname bestaat uit:

- Een bepaling van de kwaliteit van de graszode. Hiervoor wordt een graszode uitgestoken en wordt middels een trekproef de sterkte van de doorworteling bepaald. Daarnaast wordt op het oog de bedekking en de dichtheid van de grasbegroeiing in de opnamevlakken (zie VTV 2006) bepaald. Dit onderzoek wordt in maart 2023 uitgevoerd.
- Een vegetatieopname volgens de methode Braun-Blanquet. Hierbij worden in een vlak van 5 x 5 m alle voorkomende vaatplanten genoteerd, inclusief de mate van hun bedekking binnen het opnamevlak. Daarnaast wordt ook de totale bedekking van alle planten, inclusief en exclusief de mossen, binnen het opnamevlak bepaald. Op basis van de vegetatieopname kan het graslandtype (stroomdalgrasland, glanshaverhooiland, kamgrasweide, H1, H2, H3 etc.) worden bepaald. Dit onderzoek wordt in juni 2023 uitgevoerd.

E. Enviromental DNA analyse

Wij zullen twee eDNA methoden toepassen: metabarcoding en kwantitatieve PCR. Voor het vaststellen van een nulmeting verzamelen wij op drie locaties binnen het plangebied van de vooroever (trajecten 1A) viermaal per jaar een monster. Daarnaast bemonsteren wij een referentielocatie buiten het plangebied. Deze referentielocatie maakt het mogelijk gemeten temporele verschillen als gevolg van beheersmaatregelen te onderscheiden van algemeen optredende temporele dynamiek.

Metabarcoding

Metabarcoding is een eDNA-analysemethode waarbij een complete soortengemeenschap in kaart wordt gebracht door een klein specifiek stuk DNA (barcode) af te lezen voor alle soorten binnen een bepaalde soortgroep. Doordat elke barcode van elke soort net anders is kan met behulp van DNA sequencing een soortenlijst worden afgeleid. Wij passen deze techniek toe voor onderzoek naar macro- en mesofauna op het land.

Kwantitatieve PCR

Kwantitatieve PCR (qPCR) is een eDNA-analysemethode die wordt ingezet voor zeer gevoelige detectie van specifieke doelsoorten. Door deze gevoeligheid kan de aanwezigheid van een enkel individu worden gedetecteerd. Naast de zeer hoge gevoeligheid is qPCR ook in staat om de hoeveelheid eDNA van een bepaalde soort nauwkeurig te meten. Hiermee kunnen abundantiepatronen van soorten in ruimte of tijd in kaart worden gebracht. Voor de IJsselmeerdijk passen wij deze techniek toe voor het vaststellen van een aantal beschermde zeldzame bentische vissensoorten, zoals rivierdonderpad, zee- en rivierprik, aal,

Projectgerelateerd

meerval en kwabaal. Deze kunnen vanwege hun zeldzaamheid bij de visinventarisaties genoemd onder B worden gemist.

6 Duurzaamheid

Duurzaamheid wordt nog geupdated in de eerste week van oktober.

Duurzaamheid is een integraal onderdeel van de aanpak en werkwijze van het project. Het is helemaal vervlochten met het ontwerp- en participatieproces. Voor dit project zijn reeds in de Verkenningsfase ambitieuze duurzaamheidsdoelstellingen geformuleerd met als resultaat een duurzaam VKA. In de Planuitwerking moeten deze doelen minimaal worden gehaald; daarnaast zijn nieuwe ambities geformuleerd om de volgende stap(pen) qua duurzaamheid te zetten.

De IJsselmeerdijk dient “maximaal duurzaam” te zijn, hetgeen wil zeggen dat zo optimaal mogelijk invulling wordt gegeven aan circulariteit, milieu-impact en biodiversiteit. “Maximaal duurzaam” is de ambitie volgens Collegeplan 2019-2023, Waterschap Zuiderzeeland, 2019

De duurzaamheidsdoelstellingen en -ambities fungeren als uitgangspunten voor het ontwikkelen en beoordelen van de varianten in de Planuitwerkingsfase. Duurzaamheid focust zich op de thema's circulariteit, klimaatneutraliteit en biodiversiteit.

6.1 Referentieontwerp voor Planuitwerkingsfase

Voor het toetsen van de doelen en ambities is in de basis uitgegaan van de duurzaamheidsprestaties het Voorkeursalternatief (VKA) dat is opgesteld in de Verkenningsfase, met een aanscherping van de MKI-waarde. De onderliggende uitgangspunten om de duurzaamheidsprestaties voor MKI, CO₂ en circulariteit te bepalen worden meegenomen naar de Planuitwerkingsfase, zoals bijvoorbeeld het gebruik van minimaal 80% secundair zand.

6.2 Uitgangspunten per duurzaamheidsthema

6.2.1 Circulariteit

De focus voor het thema circulariteit zijn samen te vatten in drie categorieën:

1. Maximaal hergebruik van materialen;
2. Inzet van secundaire of hernieuwbare materialen;
3. Maximaliseren van de herbruikbaarheid van materialen bij einde levensduur.

Op basis van deze drie categorieën zijn de volgende doelstellingen en ambities (cursief) geformuleerd:

- a. Minimaal 93% van de materialen uit de dijk hergebruiken in de dijkversterking.
 - o *Het streven is om dit te vergroten naar minimaal 95%.*
- b. Maximaal 39% primair materiaal gebruiken.
 - o *Het streven is om dit te reduceren tot maximaal 29%.*
- c. Minimaal 94% van het materiaal dat wordt toegepast in de dijkversterking is in de toekomst opnieuw herbruikbaar.
 - o *Het streven is om dit percentage te verhogen door een alternatief te vinden voor het gebruik van geotextiel.*

Dit betekent dat we in de planuitwerkingsfase in elke ontwerploop naar de volgende aspecten kijken:

- Herbruikbaarheid van vrijkomende materialen uit de huidige dijk;

Projectgerelateerd

- Beschikbaarheid van secundaire materialen (boven primaire materialen) bij de versterkingsopgave;
- Herbruikbaarheid van toegepaste materialen bij einde levensduur.

Deze uitgangspunten zijn leidend voor het ontwerpproces en zullen inzichtelijk worden gemaakt met behulp van een aantal producten:

- Oogstplanning: dit is een vervolg op de in de verkenningsfase opgestelde Oogstkalender. De Oogstplanning geeft in detail weer welke materialen wanneer vrijkomen en hoe deze eventueel toegepast kunnen worden in het nieuwe ontwerp. Hierbij wordt gekeken naar zowel de hoeveelheden als de kwaliteit van de vrijkomende en benodigde materialen.
- Materialenpaspoort: aansluitend op de Oogstplanning zal een vaste structuur opgezet worden voor het vastleggen van materiaalinformatie. Op deze manier is het mogelijk om in de toekomst beter circulair te ontwerpen en bouwen.
- Duurzaamheidsdashboard 2.0: het doorontwikkelde duurzaamheidsdashboard wordt gedurende het ontwerpproces ingezet om de beoordeling van ontwerpen op het gebied van circulariteit inzichtelijk en vergelijkbaar te maken. Op basis van deze resultaten, kan worden gekozen om ontwerpen aan te passen en/of te optimaliseren.

Tot slot onderzoeken we in de Planuitwerking de mogelijkheden om geotextiel te vervangen door herbruikbare alternatieven, om zo de herbruikbaarheid van de dijk bij einde levensduur te vergroten.

6.2.2 Klimaatneutraal

Een klimaatneutrale dijk bestaat in dit project uit verschillende aspecten:

1. Milieu-impact, uitgedrukt in MKI;
2. CO₂-uitstoot, uitgedrukt in ton CO₂;

Het minimaliseren van deze aspecten vormt de basis van de ambitie voor klimaatneutraliteit.

Op basis van deze aspecten zijn de volgende doelstellingen en ambities (cursief) geformuleerd:

- d. Realiseer een maximale MKI-waarde van € 6,5M.
 - o *Het streven is om een maximale MKI-waarde van € 5,2M te realiseren, een 20% reductie.*
- e. Realiseer een maximale CO₂-uitstoot van 55 kton.
 - o *Het streven is om een maximale CO₂-uitstoot van 44 kton te realiseren, ook een 20% reductie.*
- f. *De resterende CO₂-uitstoot dient gecompenseerd te worden door middel van duurzame energieopwekking met zonnepanelen.*

Dit betekent dat we in de planuitwerkingsfase in elke ontwerploop naar de volgende aspecten kijken:

- Hoeveelheid materialen, aangezien het beperken van materialen ook in principe bijdraagt aan het reduceren van de MKI en CO₂ van het project.
- Herkomst van materialen, waarbij we zowel kijken naar de bron als het transport om het op locatie te krijgen. Secundaire materialen hebben hierbij in de eerste plaats de voorkeur, omdat deze voor de MKI en CO₂ vrij zijn van milieulast. Verder wordt ook het transport meegenomen, zowel de afstand als het materieel om de materialen mee te vervoeren. Hierbij speelt ook NO_x een rol.

Projectgerelateerd

- Uitvoering van de dijkversterking, waarbij wordt gekeken naar het in te zetten materieel (type, stage-klasse, energiebron) en de hoeveelheid. Doel is om de dijkversterking zoveel mogelijk uit te voeren met emissieloos materieel.
- Mate van herbruikbaarheid van materialen en grondstoffen aan het eind van de levensduur, zodat een volgende levenscyclus mogelijk is; dit voorkomt negatieve milieueffecten (MKI en CO₂) in de toekomst.

De uitvoering en monitoring van de bovenstaande uitgangspunten zal gedaan worden met behulp van de volgende producten:

- DuboCalc en de Nationale Milieudatabase: voor het berekenen van de milieu-impact en CO₂-uitstoot wordt gebruik gemaakt van DuboCalc en de data van de Nationale Milieudatabase.
- Duurzaamheidsdashboard 2.0: het doorontwikkelde duurzaamheidsdashboard wordt gedurende het ontwerpproces ingezet om de beoordeling van ontwerpen op het gebied van klimaatneutraliteit inzichtelijk en vergelijkbaar te maken. Op basis van deze resultaten, kan worden gekozen om ontwerpen aan te passen en/of te optimaliseren.

6.2.3 Biodiversiteit

De focus voor het thema biodiversiteit ligt op de volgende aspecten:

1. Het vergroten van de ecologische waarde van het klimaatlandschap (van langsdam tot kwelsloot);
2. Het minimaliseren van de stikstofuitstoot, uitgedrukt in kg NO_x.

Op basis van deze focuspunten zijn de volgende ambities vastgesteld. (SE_00015)

- g. Realiseren van minimaal ca. 60 ha verondieping tussen de IJsselmeerdijk en de vooroeverdam.
 - *Het streven is om met behulp van subsidies aanvullende ecologische maatregelen toe te passen voor een verbeterde ecologische inrichting.*
- h. Zo groot mogelijke biodiversiteit op de dijk, vooroever, in het water en op de waterbodem.
 - *Het streven is om een integraal plan te ontwikkelen voor het hele klimaatlandschap: langsdam, vooroever, overgang, grasbekleding en kwelsloot.*
- i. *De uitstoot van stikstof zoveel mogelijk reduceren, geen depositie op natuurgebieden (Ijsselmeer? en andere gebieden)*⁶

Dit betekent dat gedurende de planuitwerkingsfase:

- In de afweging van ontwerpen wordt biodiversiteit meegenomen in het afweegkader. Dit om de kansen voor biodiversiteit optimaal te benutten binnen de gestelde voorwaarden.
- Een ECO+ variant en een variant met minimale beheer inspanning/kosten worden ontworpen. Op deze manier kan eenvoudiger naar een balans tussen beide ontwerpen gevonden worden.
- Een plan en ontwerp voor het eindbeeld van een 'klimaatlandschap' voor beide varianten met daarin onder meer de volgende elementen:
 - Verbindingszones voor de migratie van flora en fauna; hierbij kun je denken aan de overgang van de vooroever naar het IJsselmeer en de migratiepaden van vogels t.o.v. Windplan Blauw.
 - Onderzoeksresultaten voor het vergroten van de biodiversiteit van de grasbekleding (bijvoorbeeld bloemrijke grasmengsels).

⁶ De doelstelling m.b.t. de stikstofuitstoot wordt na ontwerploop 1 bepaald.

- Mogelijkheden om de oevers van de kwelsloot natuurvriendelijk in te richten.
- Oplossingen worden voor het verbeteren van de biodiversiteit van de steenbekleding.

Voor de monitoring van de bovenstaande uitgangspunten zal gebruik worden gemaakt van de volgende producten:

- AERIUS: voor het berekenen van de stikstofuitstoot en depositie wordt gebruik gemaakt van het AERIUS-platform.
- Natuurpunten: voor het bepalen van de mate van biodiversiteit hanteren we de natuurpuntensystematiek die rekening houdt met de grootte van het betreffende (deel)gebied en de aanwezigheid van doelsoorten in het gebied.
- Duurzaamheidsdashboard 2.0: het doorontwikkelde duurzaamheidsdashboard wordt gedurende het ontwerpproces ingezet om de beoordeling van ontwerpen op het gebied van stikstof en biodiversiteit inzichtelijk en vergelijkbaar te maken. Op basis van deze resultaten, kan worden gekozen om ontwerpen aan te passen en/of te optimaliseren.

7 Uitvoering

7.1 Uitgangspunten

7.2 Bereikbaarheid

Tijdens de uitvoering moet rekening gehouden worden met de bereikbaarheid. Dit wordt vastgelegd in het mobiliteitsplan. De eisen en uitgangspunten zijn te vinden in de SES 2.1 (zie bijlage A).

De noordzijde van het traject loopt de dijk parallel met de A6. Vooralsnog lijkt er geen direct raakvlak met de A6. Met uitzondering van het meest noordelijke traject nabij de Ketelbrug, waar de afrit op kortere afstand van de dijk is gelegen. Dit deel wordt uitgewerkt als maatwerklocatie. Verder zuidelijk nabij de Klokbekerweg is de ontsluitingsweg “IJsselmeerdijk” aan de polderzijde van de dijk aanwezig die toegankelijk is voor autoverkeer. Nabij het Houtribbos sluit deze weg aan op de provinciale weg N307 die doorloopt tot aan de kruising Houtribdijk. De N307 ligt ter hoogte van het golfpark op de binnenberm van de IJsselmeerdijk. Daarnaast is er sprake van een doorgaand befietsbaar onderhoudspad over de volledige lengte van de dijk.

Het uitgangspunt bij start ontwerploop 1 is dat bestaande wegen in dezelfde functionaliteit en met dezelfde dimensies terugkomen in het nieuwe dijkontwerp. In ontwerploop 1 wordt van de mogelijke meekoppelkans “verbreding IJsselmeerdijkweg” bepaald of deze ingepast kan worden, zie ook paragraaf 4.2.5. Als deze meekoppelkans wordt ingepast, dan geldt bovenstaand uitgangspunt voor dit deeltraject. Daarnaast is het uitgangspunt dat percelen van derden in het plangebied bereikbaar dienen te blijven tijdens en na de dijkversterking.

7.3 Veiligheid

7.3.1 Hoogwaterveiligheid tijdens uitvoering

Met het versterken van de dijk mag de kans op overstromen niet toenemen ten opzichte van de huidige situatie, conform de grondslagen voor hoogwaterbescherming. Om toch de dijk te kunnen versterken zijn werkafspraken nodig die zorgen dat de veiligheid kan worden gewaarborgd.

Om te zorgen dat de aannemer voldoende handvatten heeft om tot een waterveiligheidsplan te komen en afspraken te maken met ZZL wordt het volgende uitgewerkt:

- Voor alle faalmechanismen beschrijven we welke ruimte er is, waar vooral op gelet moet worden en wat belangrijke aandachtspunten zijn;
- We geven handvatten geven hoe toch veilig gewerkt kan worden. Dit dient als input voor de aanbesteding- en contractstukken;
- We analyseren de ruimte die er is vanuit het beleid van ZZL en welke restricties dit met zich meebrengt;
- We verzamelen data voor de aanbesteding- en contractstukken waaruit de aannemers kunnen afleiden hoe vaak stormen, relevante hydraulische condities en onwerkbaar weer te verwachten zijn. Dit draagt bij aan de vergelijkbaarheid van de inschrijvingen.

Overige relevante eisen zijn al opgenomen in de SES 2.2 (bijlage A)

7.3.2 Arbeidsveiligheid en Omgevingsveiligheid

Zuiderzeeland is verantwoordelijk voor de arbeidsveiligheid en omgevingsveiligheid. Met het ontwerpen maken wij keuzes die invloed hebben op de uitvoeringswijze. De uitvoeringswijze heeft daarmee weer invloed op de V&G van personeel van Zuiderzeeland en de aannemer. We nemen daarom V&G mee in het afwegingskader.

Daarnaast doen we een risico-inventarisatie en evaluatie. Ook starten we tijdens ontwerploop 1 met een V&G-plan voor de ontwerpfase. In het V&G-plan wordt o.a. ingegaan op de gemaakte ontwerpkeuzes en de invloed daarvan op de arbeidsveiligheid en omgevingsveiligheid. Het plan heeft als doel om letsel te voorkomen.

8 Onderzoeken

8.1 Kabels en leidingen

Doel is om aan tonen dat de 30 kruisende leidingen een verwaarloosbare bijdrage leveren aan de overstromingskans.

In de landelijke eerste beoordelingsronde en de verkenningsfase zijn de kruisende leidingen niet beoordeeld, met uitzondering van 5 leidingen. Alle 5 voldoen niet aan de NEN. De gasleiding van de Maxima-centrale is daarop met een probabilistische beoordeling goedgekeurd. Om na realisatie aantoonbaar aan de waterveiligheidseisen te voldoen, is het nodig aan te tonen dat de 30 kruisende leidingen een verwaarloosbare bijdrage leveren aan de overstromingskans. De leidingen zijn vermoedelijk allemaal gelegd met vergunning en zouden daarbij moeten voldoen aan de eisen uit de vergunningen. De vraag is of deze voldoen aan de NEN 3650 en 3651. Zo niet, dan is het van belang om op pragmatische wijze slim te onderbouwen dat de bijdrage aan de overstromingskans verwaarloosbaar klein is o.b.v. een faalpad analyse, conform de POV K&L aanpak. Als hieruit volgt dat de bijdrage niet verwaarloosbaar is, moet worden aangegeven hoe de leiding aangepast kan worden, zodat de bijdrage verwaarloosbaar wordt.

In rapportage “Plan van Aanpak K&L – Versie C (definitief op basis van VKB)” (kenmerk BH5290-ZZ-XX-RP-Z-0037, RHDHV 14-04-2022) is onderstaand overzicht van de 30 kruisende leidingen opgenomen.

Tabel 8-1: Overzicht kruisende leidingen IJMD

Code	Dijkpaal	Oordeel fysiek raken	Advies vervolgstap beoordeling
DR-GEM-003	32.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DR-GEM-004	34.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DR-GEM-005	34.8	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.

Projectgerelateerd

DR-GEM-006	33.9	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DR-GEM-Flevokust	27.0	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid. (1)
DW-VIT-004	32.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DW-VIT-010	33.9	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DW-VIT-010	33.9	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DW-VIT-012	26.0	Raakvlak met dijkversterking (ophoging nader beoordelen, leiding aangelegd met gestuurde boring)	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid. (1)
DW-VIT-013	27.0	geen raakvlak met dijkversterking)	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid. (1)
DW-VIT-024	31.8	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DW-VIT-028	34.9	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DW-VIT-033	34.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DW-VIT-036	26.0	slechts mantelbuis, geen raakvlak met dijkversterking	mantelbuis eventueel verwijderen
DW-VIT-037	26.0	slechts mantelbuis, geen raakvlak met dijkversterking	mantelbuis eventueel verwijderen
DW-VIT-061	34.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
DW-VIT-065	34.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
GI-NGO-003	26.0	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid. (1)
LG-LIA-005	27.0	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid. (1)
LG-LIA-009	34.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-011	31.8	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-018	33.9	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-019	34.7	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-032	33.9	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-033	34.4	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-035	34.7	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-042	34.7	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-049	33.9	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
LG-LIA-107	34.7	geen raakvlak met dijkversterking	Sterktetoets NEN 3650/3651 t.a.v. beoordeling waterveiligheid.
OV-ZZL-002	30.7	geen raakvlak met dijkversterking	Conform [ref. 8] nader beoordelen.

(1) De beoordeling van deze leidingen is uitgevoerd tijdens de verkenningsfase.

Bij de beoordeling van de overige kruisende leidingen wordt gebruik gemaakt van de ter informatie afgeleide ontgrondingskuilen voor kruisende leidingen in de rapportage “Beoordeling geotechnische stabiliteit parallelle leidingen” (kenmerk BH5290-ZZ-XX-RP-Z-0006, RHDHV, 23-09-2021).

Als eerste stap in de beoordeling wordt de sterkte-toets NEN3650/3651 uitgevoerd ten aanzien van de waterveiligheid. Op basis hiervan worden de vervolgstappen bepaald.

8.2 DTM, Sonar, breuksteen en Archeologie

8.2.1 DTM en Sonar

Ter ondersteuning van het ontwerp en de hoeveelheden heeft ZZL een DTM en sonar onderzoek uitgevraagd. Het onderzoek omvat het inmeten van de hoogte van de dijk van teen tot teen d.m.v. een Lidar vliegtuig. Het sonaronderzoek sluit hierbij nauw aan. De hoogte van de bodem wordt voor alle dijkvakken ingemeten. Voor dijkvak 4 wordt dit tot 100 m uit de kust gedaan. Voor alle andere dijkvakken tot 400 meter uit de kust. De resulterende hoogtekaarten (LIDAR en SONAR) worden samengevoegd tot één hoogtekaart. De hoogtekaart is opgeleverd als databestand en toegevoegd aan de GIS-viewer. Op basis van deze kaart is een 3D model opgezet voor het ontwerp waar ook de hoeveelheden uit gehaald worden

8.2.2 Archeologisch onderzoek

Het archeologisch onderzoek omvat 2 onderdelen:

- Vibrocore boringen op locaties waar grondverzet verwacht wordt met archeologische waarde. Dit is in principe alleen op de locatie van de vooroeverdam. Op de dijk wordt niet of nauwelijks in oude lagen geroerd. De Swifterbantcultuur heerste op deze locatie, vandaar dat er ook een aantal landboringen worden gedaan rondom de uitstroompunten van oude beken. De boringen resulteren in een verkennend onderzoek. Een karterend onderzoek kan hier eventueel op volgen.
- Sonaronderzoek. Voor het sonaronderzoek geldt dat niet alleen de hoogte wordt ingemeten. Er wordt ook een sidescan gemaakt om de archeologische waarde in kaart te brengen. Hiermee kunnen vliegtuig- en scheepswrakken in kaart worden gebracht. Hiervoor wordt er nog een Programma van Eisen opgesteld voor het geval er een scheeps- of vliegtuigwrak wordt aangetroffen, uitgaande van een waardering in geval mogelijke wrakresten worden aangetroffen. Daarnaast wordt er ook een Protocol toevalsvondsten geschreven.

Het archeologisch onderzoek zal volgens Vestigia naar alle waarschijnlijkheid weinig effect hebben op het ontwerp. Echter moet er wel rekening gehouden worden dat er iets gevonden kan worden waardoor vervolgonderzoek nodig is. Het effect van de grondvulling bij de vooroever zelf kan d.m.v. zettingsberekeningen zeer waarschijnlijk worden weggeschreven. Het effect van de vooroeverdam kan echter wel een probleem worden als er elementen van archeologische waarden worden aangetroffen. Een mogelijke aanpassing aan het ontwerp is om hier geen cunet uit te graven of de locatie van de dam te wijzigen.

De resultaten van het archeologisch onderzoek worden begin oktober verwacht. De effecten zullen worden meegenomen in het ontwerp van OL2. Indien een fase twee van het sonaronderzoek nodig is, zal dit worden opgezet.

8.2.3 Breuksteenonderzoek

De herbruikbaarheid van de breuksteen op de huidige teen is van belang om in kaart te brengen. Hiervoor is een onderzoek nodig naar het volume van het materiaal. Voorlopig maken we een schatting van dit volume gebaseerd op de DTM en het sonaronderzoek.

In OL2 zal het volume breuksteen worden ingeschat op de locaties waar de dijk traditioneel wordt versterkt. Waar de vooroever komt is het verwijderen van de breuksteen niet nodig.

8.3 Milieuhygiënisch bodemonderzoek

8.3.1 Doelstelling

1. In beeld brengen van de milieu-hygiënische toestand van
 - a. De waterbodem (ontvangende bodem)
 - b. De vrijkomende materialen uit de waterbodem (cunet)
2. Zorgen dat de vrijkomende materialen in het versterkingsproject binnen wet- en regelgeving kunnen worden ontgraven, verplaatst, hergebruikt en afgevoerd.
 - a. Vaststellen of de bestaande vlijlaag en het filtermateriaal van voldoende kwaliteit zijn om te hergebruiken als onderlaag en filter voor de nieuwe steenzetting.
 - b. Asphalt van het onderhoudspad. Het initiële verhardingsonderzoek van KOAC moet geverifieerd worden.

Het landbodemonderzoek bij de traditionele versterking wordt sterk afgeraden. Het HWBP stelt dat als je onderzoek doet je PFAS moet meenemen. Hier is geen directe aanleiding om PFAS te onderzoeken in dit gebied omdat er geen sprake is van een bron.

8.3.2 Waterbodem

Waterbodem zit niet in het conditionerend onderzoek en dient te worden meegenomen. In de huidige plannen kan tot 120 meter uit de kust over een lengte van 11 km grond gaan toepassen. Er wordt nauwelijks ontgraven. Van deze locatie dient de kwaliteit van bovenste laag te worden vastgesteld om te kunnen profileren e.d. en de kwaliteit van de ontvangende bodem te worden vastgesteld om te bepalen welke kwaliteit grond er mag worden toegepast.

Het onderzoek is uitgevoerd tijdens OL1 en de resultaten worden begin oktober verwacht. De eerste resultaten geven aan dat de bodem erg schoon is (kwaliteitsklasse A). Dit betekent dat de grond die toegepast mag worden van dezelfde kwaliteit moet zijn of beter.

8.3.3 Vrijkomende materialen

Bodemkwaliteitsonderzoeken naar alle vrijkomende materialen die niet onderzocht worden in het kader van de NEN 5740 en die wel moeten worden onderzocht zijn o.a:

Cunet materiaal langsdam als vulmateriaal vooroever

Dit cunet wordt gemaakt in de dijkvakken 1 en 3 en deels in 2 en liften mee op het waterbodemonderzoek door ook de laag 0,5-4,0 m-wb te onderzoeken.

Dit onderzoek is deels uitgesteld en vervangen voor een verkennend bodemonderzoek. Het NEN-5740 onderzoek schuiven we voorlopig door naar de aannemer.

Er zijn verkennende boringen uitgevoerd via het archeologisch onderzoek welke input hebben geleverd aan het conditionerend onderzoek voor de ontvangende bodem. Beide onderzoeken (verkennend via archeologie en verkennend via NEN onderzoek ontvangende waterbodem) geven samen een goede indicatie van het vrijkomend materiaal. Dit zorgt weer voor een risicoreductie voor de aannemer en mogelijk tot een reductie van de inspanning van het uiteindelijk NEN 5740 waterbodem onderzoek onder het cunet.

Asfalt van het onderhoudspad

Het initiële verhardingsonderzoek van KOAC moet geverifieerd worden. Dit onderzoek wordt in OL2 uitgevoerd.

Breuksteen (natuursteen), basalt zuilen (basalton-beton of natuursteen) en de vleilaag van klinkers/bakstenen

Breuksteen en Basaltzuilen (stortsteen en zetsteen) en de vleilaag van klinkers/bakstenen zijn van natuursteen of beton en zijn vrijgesteld van onderzoek (samenstellings- en emissieonderzoek) mits sprake is van de volgende handelingen:

- Het zonder bewerking opnieuw onder dezelfde condities toepassen van vormgegeven bouwstoffen van beton, keramiek, natuursteen en bakstenen.
- Het zonder bewerking opnieuw onder dezelfde condities toepassen van bouwstoffen waarvan de eigendom niet wordt overgedragen.

Bovenstaande uitzondering geldt niet indien degene die de bouwstof toepast op grond van kennis of organoleptische waarneming kan aannemen of redelijkerwijs had moeten aannemen dat niet is voldaan aan artikel 28, eerste lid, onder b.

Onderzoek heeft geen meerwaarde en geeft geen extra inzicht in de hergebruiksmogelijkheden.

Filtermateriaal

In de verkenningsfase is discussie ontstaan of het filtermateriaal herbruikbaar is of niet, daarnaast beoogd het VKA het toepassen van geotextiel onder de steenzetting. Onder de huidige steenbekleding zit een vlijlaag van dubbel gebakken klinkers met daarop geklopt puin als filtermateriaal. Door de jaren heen is het filtermateriaal op verschillende locaties met gebroken grind en/of gebroken graniet bijgemengd bij het herzetten. De te beantwoorden vraag is of de vleilaag en het filtermateriaal van voldoende milieuhygiensche kwaliteit zijn om te hergebruiken. Hiertoe is onderzoek naar mogelijke asbestverontreinigingen in het geklopte puin gevraagd.

Opzet onderzoek

- Scope: DV 2 en 4
- Lengte DV 2 (Meerdijk) km 23.1 tot 29.5: 6400 m
- Lengte DV 4 (Baaidijk) km 32.5 tot 33.9: 1400 m
- Voorinformatie: mogelijk asbest aanwezig maar niet boven de hergebruiksnorm van 100 mg/kg.
- Onderzoeksstrategie: indicatief
- Veldonderzoek: 1 meetpunt per 250m uitgevoerd
- Inspanning veldonderzoek: DV2 – 26 meetpunten en DV 4 – 6 meetpunten, uitzeven fijne fractie en samenstellen monsters onder verhardingslagen
- Inspanning laboratoriumonderzoek: 10 analyses asbest in puin
- Analysepakket: asbest in puin

Dit onderzoek wordt in OL2 uitgevoerd.

8.3.4 Conclusie

Het milieuhygiënisch onderzoek is grotendeels in OL2 gepland om het kostenefficiënt in te richten. De resultaten voor het waterbodemonderzoek worden begin oktober verwacht. Het filtermateriaal en asfalt worden nog onderzocht in OL2 waarbij het PVA begin oktober met het technisch team wordt besproken

8.4 Licht, lucht, geluid en trillingsonderzoek

De licht-, geluids- en trillingsonderzoeken worden tijdens ontwerploop 1 opgezet.

8.4.1 Lucht

Het luchtonderzoek zal voorlopig nog niet worden uitgevoerd, vanwege de volgende redenen:

- Het onderzoek leidt waarschijnlijk niet tot nauwkeurige metingen;
- De herkomst van de zand/pollen/deletjes is niet te herleiden, want er zijn veel potentiële bronnen in de buurt;
- De onderzoeken zijn kostbaar en leveren waarschijnlijk geen significant antwoord op de vraag naar de orde grote van bijdrage van de vooroever aan stuifzand/ stof in de lucht en mogelijke effecten op gevoelige objecten. En biedt daarmee geen handvatten om tot een risico reductie van mogelijke effecten te komen.

8.4.2 Licht

Voor het geluidsonderzoek zullen er 6 locaties worden gemeten op 4 momenten in het jaar. Het lichtonderzoek zal kwalitatief worden uitgevoerd. Daarin omschrijven we de huidige lichtbronnen en mogelijke gehinderden in de 0-situatie. Ook zullen we de toekomstige ontwikkelingen omschrijven die de kans op lichthinder mogelijk vergroten. We adviseren hoe de kans op lichthinder zo veel mogelijk kan worden beperkt. Voor dit onderzoek volgen we de NSVV Richtlijn Lichthinder. De bevindingen zijn vastgelegd in een rapportage gedurende OL1

8.4.3 Geluid en Trillingen

De onderzoeken dragen niet (voldoende) bij aan het verminderen van de kans op (succesvol) ingediende klachten vanuit de omgeving. Op basis van ervaring zien wij dat een nulmeting geen sterkere juridische positie creëert. Dit komt mede doordat vele factoren plaats en tijd afhankelijk zijn. Metingen worden zodoende niet als overtuigende informatie beschouwd bij het onderzoek naar hinder. Daarnaast weten wij uit ervaring dat deze effecten ook zeer goed met expert judgement in te schatten zijn. Een volledig onderzoek zal zodoende leiden tot hoge en overbodige kosten. Echter, er bestaat altijd een risico dat we bij een zienswijze toch meer informatie nodig hebben. Desalniettemin zijn op voorhand uitgevoerd onderzoeken hierbij niet noodzakelijk. In het geval dat het nodig is kan er op dat moment besloten worden een aanvullende (deel)onderzoek te doen. Dit kan dan als onderdeel van het monitoringsprogramma worden meegenomen.

9 Kosten

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het ramingsproces voor het opstellen van de Realisatiefase ramingen in de verschillende ontwerploops voor Dijkversterking IJsselmeerdijk. Daarbij rekening houdend met de gestelde eisen in het werkpakket 5.10.02 SSK-raming (incl. LCC) van Bijlage B Opdrachtbeschrijving.

Dit hoofdstuk geeft invulling aan de doelstelling zoals opgenomen in het werkpakket:

Na iedere ontwerploop (3x) opstellen van een SSK-raming van de realisatie- en beheerkosten:

Projectgerelateerd

- Na ontwerploop 1: deterministische SSK-ramingen van onderscheidende varianten en totaal raming
- Na ontwerploop 2 en 3: een probabilistische SSK-raming van de definitieve variant.

De volgende paragrafen zijn in dit document opgenomen:

- Opdrachtschrijving
- Uitgangspunten
- Relatie met andere werkpakketten

In dit document wordt verwezen naar de producteisen uit het Werkpakket bij de diverse onderwerpen, waar deze invulling geven aan de eisen door middel van een verwijzing in groen [PD_001]

9.1 Opdrachtschrijving

9.1.1 Eisen aan het product en uitwerking daarvan

De kostenramingen worden gebaseerd op de Standaard Systematiek Kostenramingen van CROW [PD_001]. Model SSK 2018 en versie nummer 2.3.00 wordt gebruikt voor het project.

Bij het opstellen van de ramingen zal met de volgende broninformatie van het HWBP rekening worden gehouden: [PD_001].

- Subsidieregeling: in de kostennota wordt een overzicht opgenomen van de subsidiabele onderdelen binnen de regeling met een verwijzing waar de raming van IJsselmeerdijk voldoet aan de regeling.
- Webpagina HWBP LCC in dijkversterking.
- Referentiekader en rekentool van HWBP (recente uitgave van april 2023) Hiermee wordt een analyse gedaan op de resultaten van de kostenramingen.

De SSK ramingen bevatten de totale Projectkosten: Investeringskosten + Instandhoudingskosten. Voor de beheerfase wordt een horizon van 100 jaar aangehouden. [PD_002.a].

De raming wordt opgedeeld in de Contract Gebonden en Niet Contractgebonden kosten

Hiermee is eenvoudiger onderscheid te maken in de kosten van het Waterschap en de Opdrachtnemer ten behoeve van de op te stellen Contractraming [PD_002.d]. Het risicodossier wordt ook opgedeeld met risico's allocatie 'OG' en 'ON' waarmee ook hier het onderscheid gemaakt kan worden. In overleg met het Waterschap wordt bepaald hoe deze risico's in de raming worden meegenomen.

Er worden in basis twee ramingen opgesteld: die voor de dijkversterking en voor de beoogde meekoppelkansen. Dit zijn de ramingen met respectievelijk Subsidiabele en Niet Subsidiabele kosten [PD_002.b]. De contractraming dient een variatiecoëfficiënt (VC) van 15% te hebben voor zowel de Investeringskosten als de Instandhoudingskosten.

De raming van de meekoppelkansen wordt uitgewerkt in een eigen SSK raming, waarbij per meekoppelproject een aparte deelraming wordt aangehouden. Deze raming wordt deterministisch opgesteld.

Vooralsnog wordt gerekend met de volgende drie meekoppelprojecten [PD_002.c]:

- Opwaarderen wandel- en fietspad,
- Recreatievoorziening,
- Eco-plus-inrichting vooroever

Het waterschap hecht veel belang aan het in kaart brengen van de beheerkosten van het project. Er is in de Verkenningsfase onderscheid gemaakt in inspecties, eigen inzet, regulier onderhoud en vervangingen.

Waarbij deze laatste conform HWBP systematiek nodig is, maar vaak in de eigen organisatie weer als een nieuw project gezien worden. Daarom is het nodig deze onderdelen weer separaat in beeld te brengen om goed inzicht te geven welke kosten werkelijk in de toekomst gemaakt worden voor het Waterschap. Daarvoor is ook inzicht nodig in het huidige beheer met de daarbij behorende kosten. Dat zal inzichtelijk worden gemaakt na één of meer overleggen met deskundigen van het Waterschap. [PD_003.a]. Na opstellen van beide ramingen kan analyse op de verschillen uitgevoerd worden.

De resultaten van de kostenramingen worden beschreven in een kostennota, met de hoofdstuk- of paragraaf indeling zoals gehanteerd in de Verkenningsfase. Hiervoor zal wederom het rapportformat van Royal HaskoningDHV worden gebruikt. In de nota worden naast een managementsamenvatting de resultaten met afwegingen, de scope toegelicht, de gehanteerde uitgangspunten, samenhang andere onderdelen, en andere relevante onderdelen. [PD_003b en PD_004]. Eén van de bijlagen bij de kostennota is een register met gebruikte documenten (referentielijst). [PD_005].

9.1.2 Eisen aan het proces en uitwerking daarvan

De formele communicatielijn over de kostenramingen loopt via de Manager Projectbeheersing van het Waterschap en Royal HaskoningDHV. De informele lijn is met de kostendeskundige (KD) van het Waterschap.

Ons voorstel is om tijdens het ramingsproces bij vragen rechtstreeks met de KD van het Waterschap contact te hebben. Vooral in de opstartfase, bij het opstellen van het postenboek met modules, is het van belang het Waterschap mee te nemen in de opbouw en het uitwerkingsniveau van de ramingen. Daarom zal bij de opstart van de raming van elke ontwerploop een overleg plaats vinden om de verwachtingen met elkaar door te nemen (inhoudelijk en procesmatig). [PC_001a].

Per ontwerploop vindt een overleg plaats om de resultaten van de review met elkaar door te nemen. Dit is eerst inhoudelijk met de MPB, TM en KD en daarna ook met het HWBP en/of IPM-team. [PC_001b en PC_001c].

Gedurende het ramingsproces worden alle vragen en opmerkingen per ramingsversie en kostennota versie bijgehouden in een logboek, met daarbij een reactie met verwerking van deze punten in de raming en kostennota. Hiermee is versiebeheer van de raming navolgbaar.

De contractraming wordt gebaseerd op de contracteisen (VSE / VSP en EMVI criteria). De informatie over deze eisen dient al vroegtijdig in het ramingsproces inzichtelijk te zijn om te voorkomen dat bij elke ontwerploop de kosten hoger worden. In de eerste loops moeten daarom aannames worden gedaan als de informatie nog niet concreet genoeg is, maar er wel eerste ideeën zijn. De contractraming wordt in de aanbestedingsfase geactualiseerd als gevolg van gehouden inlichtingen rondes met aannemers. [PC_002].

9.2 Uitgangspunten

De SSK raming van de dijkversterking wordt ingedeeld naar de verschillende dijkvakken. Daarnaast krijgt de raming een extra deelraming voor de Niet Contractgebonden (maar wel subsidiabele) kosten. Er wordt met een separaat Moduleboek gewerkt waarin alle data voor de ramingen wordt verzameld (hoeveelheden, prijzen, spreidingen, frequenties, etc.). De SSK ramingen worden gevuld met data uit dit Moduleboek.

Het prijspeil wordt vastgesteld bij het opstellen van de eerste ontwerploop ramingen, op basis van het laatst bekende CBS index peil. Dit maakt indexering bij wijzingen in de toekomst eenvoudiger en realistischer.

Wijze van meenemen van Duurzaamheidsaspecten, EMVI maatregelen, Veiligheid, worden vooraf met het Waterschap afgestemd bij elke ontwerploopraming. Aannee is dat het waterschap ook met het HWBP overlegt ten aanzien van subsidiabiliteit.

In de raming zullen zoveel mogelijk onderbouwde bedragen worden opgenomen. Alleen voor Nader te Detailleren, Algemene kosten en Winst en Risico van opdrachtnemer zullen percentages worden opgenomen. Dit inzicht kan gedurende het ramingsproces nog veranderen en is daarom reden voor nadere afstemming gedurende het project.

9.3 Relatie met andere werkpakketten

De kostenraming heeft relatie met andere werkpakketten. De volgende werkpakketten genereren (o.a.) input voor de kostenraming en kostennota:

Tabel 9-1: Relatie kostenraming met andere werkpakketten

Werkpakket	Omschrijving	Input voor raming
WP 5.10.03	Planning en uitvoering	Globale inschatting uitvoeringsduur realisatie en PPI resultaten
WP 5.10.01	Risicomanagement	Project-risicodossier
WP 3.02.01	Specificeren systeem	Objectenboom / objectendossier
WP 3.	Ontwerpen	Technische onderbouwing en 3D ontwerpen / Hoeveelheden
WP 2.04.01	Vergunningen	Vergunningen scan
WP 2.06.09	Samenvatting onderzoeken	Resultaten uit conditionerende onderzoeken
WP 2.06.06	Kabels en Leidingen	Resultaten verleggingsplan
WP 2.07 WP 2.08.02 en 2.08.03	Meekoppelkansen Eindbeeld en Beheerplan Basis en Vooroever	Fietspad en recreatie, etc. Beheer en Onderhoud

10 Referenties

- [1] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Notitie Meekoppelkansen (2.6.3)
- [2] RHDHV/HKV, juni 2020, Nadere Veiligheidsanalyse IJsselmeerdijk, normtraject 8-3
- [3] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Notitie Relevante Innovaties (2.6.4)
- [4] BoschSlabbers, december 2020, Ruimtelijk kwaliteitskader IJsselmeerdijk Flevoland (IJMD)
- [5] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Notitie bouwstenen en systeemmaatregelen (2.6.1)
- [6] TU Delft / HKV lijn in water; Jongejan RMC; Waternet; Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (RWS, WV), december 2016, Grondslagen voor hoogwaterbescherming
- [7] Waterschap Zuiderzeeland, januari 2021, Standaard Ontwerp Richtlijnen - Voor de versterking of reconstructie van de primaire waterkeringen van Waterschap Zuiderzeeland
- [8] RHDHV/HKV, juli 2020, Voorverkenning Ontwerpogave 2080, Bepaling ontwerpogave en indicatieve kosteninschatting - IJsselmeerdijk 8-3
- [9] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Beschrijving totstandkoming Hydraulische belastingen IJsselmeerdijk Zuiderzeeland (2.3)
- [10] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Voorstel actualiseren Hydraulische belastingen IJsselmeerdijk (2.3)
- [11] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, juni 2018, Peilbesluit IJsselmeergebied
- [12] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS RIZA); C.P.M. Geerse, 2006, Hydraulische randvoorwaarden Vecht- en IJsseldelta.
- [13] HKV en Svašek, „SWAN productieberekeningen IJsselmeer en Zwarte Meer voor WTI -2011
- [14] Deltares, 2011, WAQUA-model IJsselmeer, IJsseldelta en Vecht. Opbouw, kalibratie en verificatie. 1202108-000
- [15] Smale, A. (2017). Invloed van aangepaste correlatie tussen modelonzekerheid golfhoogte en golfperiode. Deltares memo 11201124-002-HYE-0005, 24 augustus 2017.
- [16] J. W. van der Meer, NWH Allsop, T. Bruce, Julien De Rouck (UGent) , Andreas Kortenhaus (UGent) , T. Pullen, H. Schüttrumpf, Peter Troch (UGent) and B. Zanuttigh (2016), EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures : an overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application
- [17] Grontmij, maart 2012, Bodemdalingskaart Flevoland
- [18] Smeenge/Bouman, 2018, Logboek STBI, Macrostablieit binnenwaarts
- [19] Van der Meer, Niemeijer, Post, Heemstra, 2004, Technisch rapport waterspanningen bij dijken Waterkeringen (TAW)
- [20] De Minister van Infrastructuur en Milieu, 2016, Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017
- [21] Deltares, 2016, Protocol sonderen voor Su bepaling
- [22] POV Macrostablieit, maart 2020, POVM Langsconstructies
- [23] Visser, Jongejan, 2018, KPR factsheet werkwijze macrostablieit i.c.m. golfoverslag OI2014v4
- [24] ENW Expertisenetwerk Waterveiligheid, 2012, Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken
- [25] Deltares, 2002, Afschuiving bekleding binnentalud tijdens overslag
- [26] Deltares, 2015 Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTISOS) voor de primaire waterkeringen
- [27] Fiktorie, 2018, Logboek STMI
- [28] Van Meurs, Niemeijer, Van Meerten, Langhorst, Meuwese, mei 2018, POV drainagetechnieken
- [29] Smeenge, 2019 Logboek STPH Piping
- [30] Steetzel, 2019, Zandversterking met succes in zoet water toegepast bij Houtribdijk

Projectgerelateerd

- [31] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, augustus 2020, factsheet 'Niet Waterkerende Objecten' versie 1
- [32] Waterschap Zuiderzeeland, 2019, Collegeplan 2019-2023
- [33] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Natuurinventarisatie bureauonderzoek (3.5.1)
- [34] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Bureauonderzoek Archeologie en Cultuurhistorie (3.5.3)
- [35] RPS, oktober 2020, Vooronderzoek CE IJsselmeerdijk
- [36] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Bureauonderzoek conditionering: grondverzet in relatie tot de milieuhygiënische bodemkwaliteit (3.5.2)
- [37] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Quickscan beïnvloeding kabels en leidingen (3.5.4)
- [38] RHDHV, september 2021, Oplegnotitie geofysisch onderzoek IJsselmeerdijken
- [39] RHDHV, september 2021, Resultaten laboratoriumonderzoek keileem en toepassingsmogelijkheden hergebruik
- [40] RHDHV/HKV, september 2021, Herverdeling faalkansruimte IJsselmeerdijk normtraject 8-3
- [41] RDHDV/HKV, september 2021, Probabilistische Kruinhoogtebepaling, Graserosie Kruin en Binnentalud, Ontwerploop 2 Verkenning IJsselmeerdijk
- [42] HKV, augustus 2021, GEBU-GEKB probabilistische berekeningen Verkenning IJsselmeerdijk 8-3
- [43] Waterschap Zuiderzeeland, september 2021, Oogstkalender Kansrijke Alternatieven Versterking IJsselmeerdijk
- [44] Smale A, juli 2021, Probabilistisch beoordelen en ontwerpen grasbekleding - in opdracht van waterschap Zuiderzeeland, kenmerk 11206202-002-HYE-0001
- [45] Van Hoven en Boers, 2019, BOI Omgaan met overgangen bij faalmechanisme graserosie kruin en binnentalud. Korte studie naar kansverdelingen van het kritisch overslagdebiet inclusief overgangen
- [46] RHDHV/HKV, februari 2021, Voorstel tot actualiseren databases en te gebruiken rekentechnieken, Verkenningsfase Dijkversterking IJsselmeerdijk
- [47] RHDHV/HKV, januari 2022, Afleiding geotechnische parameters IJMD, kenmerk BH5290-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0048_IJMD
- [48] RHDHV/HKV, mei 2023, Aanscherping modelonzekerheden significante golfhoogte t.b.v. project Dijkversterking IJsselmeerdijk. **N.B** memo is nog niet definitief afgerond ten tijde van schrijven van dit document
- [49] Deltares, Omgang met overgangen bij faalmechanisme GEKB, 2019
- [50] Deltares, Rapport Langsdam IJsselmeerdijk Modelonderzoek Scheldegoot, Document ID: 11208947-002-HYE-0005, d.d. 17-05-2023
- [51] RHDHV, 221004 IJMD Notitie Voorkeursbeslissing (met bijlagen) def, dd. 4 oktober 2022

Bijlage A: Overzicht systeemeisen (SES)

Voor een actueel overzicht en meer details check <https://zuidazeeland.relatiesonline.com/>.

Bijlage B: Update ondergrondschematisering (SOS profielen)

Invoegen memo HKV.